

506.44
S675

Bulletin

de la

**Société Philomathique
de Paris**

FONDÉE EN 1788

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 25 MARS 1879

*Cette publication est honorée d'une Souscription
du Ministère de l'Instruction publique*

SÉRIE X. — TOME XIII

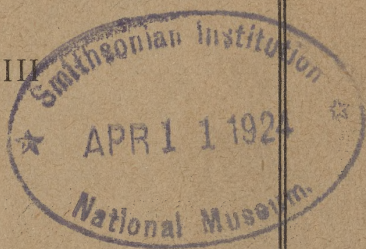
Année 1924

PARIS (V^e)

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE

I, RUE VICTOR-COUSIN, I

1924



506.44

Bulletin
de la
Société Philomathique
de Paris

FONDÉE EN 1788

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 25 MARS 1879

*Cette publication est honorée d'une Souscription
du Ministère de l'Instruction publique*

SÉRIE X. — TOME XIII

Année 1924

PARIS (V^e)
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE

I, RUE VICTOR-COUSIN, I

1924

ABRÉVIATIONS

A. M.	Assistant au Muséum.
C. C. U. P.	Chargé de Cours à l'Université de Paris.
D. M.	Docteur en Médecine.
D. S.	Docteur ès-Sciences.
E. E. P.	Examinateur à l'Ecole Polytechnique.
I. P. C.	Ingénieur des Ponts et Chaussées.
I. G. M.	Inspecteur général des Mines.
I. G. A.	— — de l'Agriculture.
M. A. M.	Membre de l'Académie de Médecine.
M. I.	— de l'Institut.
M. C.	Maître de Conférences.
P. C. F.	Professeur au Collège de France.
P. A. M.	— au Conservatoire des Arts et Métiers.
P. E. M.	— à l'Ecole des Mines.
P. L.	— au Lycée.
P. E. P.	— à l'Ecole Polytechnique.
P. P. C.	— — des Ponts et Chaussées.
P. F. Ph.	— à la Faculté de Pharmacie.
P. F. M.	— — de Médecine.
P. F. S.	— — des Sciences.
P. M.	— au Muséum.
P. H.	— honoraire.
R. E. P.	Répétiteur à l'Ecole Polytechnique.

Q
46
S6784
10e Ser.
t. 13, fascicle 1
1924
SCN 42.13

PRINCIPAUX MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE

DE 1788 A 1855

10 déc.	AUDIRAC, médecin.		SAINT-HILAIRE.
1788	BRONGNIART, chimiste.	28 mars	Georges CUVIER.
	BROVAL, mathématicien.	1796	LARREY.
	PETIT, médecin.		DAUBENTON.
	RICHE, naturaliste.	1797	DUMÉRIL.
	SILVESTRE, physicien.		DE LASTEYRIE.
	<i>Membres fondateurs</i>	1797	ALIBERT.
1789	VAUQUELIN.		ADET.
1793		1798	BICHAT.
14 sep.	BERTHOLLET.	1800	CHAPTAL.
	LAVOISIER.		DE CANDOLLE.
	VICQ D'AZYR.	1801	BIOT.
21 sep.	LAMARK.	1803	CUVIER.
	FOURCROY.	1804	THÉNARD.
28 sep.	MONGE.	1805	POISSON.
	PRONY.		GAY-LUSSAC.
3 nov.	LAPLACE.	1806	SAVIGNY.
	D'ARCET.	1807	DUPUYTREN.
	PELLETIER.	1808	AMPÈRE.
13	LACROIX.	1810	CHEVREUL.
1794	HAÜY.	1812	ARAGO.
	BERTHOUD.		DE BLAINVILLE.
1795		1813	DULONG.
13 jan.	Etienne GEOFFROY.	1814	MAGENDIE.
			CAUCHY.

1818	MILNE-EDWARDS.	1829	Elie DE BEAUMONT.
1819	FRESNEL.	1830	CORIOLIS.
1823	BECQUEREL.	1835	Alphonse MILNE-Ed-
1825	SAVART.		WARDS.
	DUMAS.	1855	Marcellin BERTHELOT.
	DE JUSSIEU.		

De 1835 jusqu'à l'époque actuelle la Société Philomathique a compté parmi ses membres les savants les plus illustres : citer leurs noms, serait rééditer l'Annuaire de l'Académie des Sciences, et, suivant l'expression de Marcellin Berthelot, « il y a cinquante à soixante ans, la Société Philomathique était comme une seconde Académie des Sciences, ou bien, suivant une expression familière, comme une antichambre de l'Académie. »

SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS

1^{er} JANVIER 1924.

Membres du Conseil (8)
en 1923, 1924 et 1925

MM.

ANTHONY.
BERTHELOT.
CAYEUX.
GRAVIER.
HENNEGUY.
JOUBIN.
KOENIGS.
PELLEGRIN.

Membres du Bureau
en 1923

MM.

Président : M. BELOT.
Vice-président : M. BECQUEREL.
Secrétaire général : M. MARAGE.
Trésorier : M. NOÉ.
Secrétaire : M. GERMAIN.
Vice-Secrétaires : MM. FAURÉ-FRÉMIET et SEMICHON.
Archivistes : M. FAURÉ-FRÉMIET, Mme CHAUCHARD.
Commission du Bulletin : MM. CAYEUX, DONGIER, LEAU, MOUREU, NEU-
VILLE, PERRIER.
Commission des Finances : MM. BOUVIER, MATIGNON, NICOLARDOT.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS

Fondée en 1788

État de la Société au 1^{er} Janvier 1924

PREMIÈRE SECTION. — SCIENCES MATHÉMATIQUES

MEMBRES HONORAIRES

MM.

- 1860 (2 juin). HATON DE LA GOUPILLÈRE (J. Napoléon), M. I., 56, rue de Vaugirard (6^e).
 1881 (12 nov.). CHEMIN, P. P. C., 33, avenue Montaigne (8^e).
 1887 (17 déc.). KOENIGS, P. F. S., 77, faubourg Saint-Jacques (14^e).
 1892 (26 janv.). BIOCHE, P. L. Louis-le-G., 56, rue Notre-Dame-des-Champs (6^e).
 — COMTE DU BOBERIL, Le Gâvre (Loire-Inférieure).
 1900 (10 mars). LEAU, P. F. S., Nancy, 8, rue Montesquieu.
 — (22 déc.). LE ROY, P. L. Saint-Louis, 27, rue Cassette (6^e).
 1902 (27 juin). DESCHAMPS, 195, rue de Tolbiac (13^e).

MEMBRES TITULAIRES (20)

MM.

- 1902 (13 déc.). GRÉVY, P. L. St-Louis, 71, r. Claude-Bernard (5^e).
 1905 (14 janv.). MAILLET, I. P. C., 11, rue de Fontenay, à Bourg-la-Reine (Seine).
 1905 (27 mai). SERVANT, Chef destr. F. S., 12, rue Victor-Cousin (5^e).
 1906 (8 déc.). FATOU, astronome adjoint à l'Observatoire, 172, boulevard Montparnasse (14^e).
 1906 (22 déc.). HENRI (Victor), prof. à l'Université, Zurich.
 1907 (11 mai). CHAPELON (J.-J.), Ing. au Corps des M., 2, boulevard Morland.

- 1908 (9 mai). ROUSIER, 62, boulevard Montparnasse (15^e).
 1909 (26 juin). LÉAUTÉ (André), 26, rue Fabert (7^e).
 1912 (11 mai). PERRIER (Colonel Georges), 34, avenue La Bourdonnais (7^e).
 1914 (26 janv.). VLÈS, P. F. S., Strasbourg.
 1916 (24 oct.). BELOT (Emile), Direct. de la Manuf. de Tabacs de Paris-Réuilly, 319, rue de Charenton (12^e).
 1917 (19 nov.). QUIQUER, vice-président de l'Institut des actuaires français, 92, boulevard Saint-Germain (5^e).
 1923 (25 mars). A. GÉRARDIN, 32, quai Claude Le Lorrain, Nancy.
 — — VOGT, P. F. S., 33, rue du Grand-Verger, Nancy.
 — — DARMOIS (Georges), P. F. S., 42, rue des Quatre-Églises, Nancy.
 1923 (7 mai). LE ROUX (Jean), P. F. S., Rennes, 47, faubourg de Fougères.
 — — MAZOUÉ, actuaire, 12, rue Jean-François-Lépine (18^e).
 1923 (12 nov.). GIRAUD, P. F. S., Clermont-Ferrand, Fontmaure à Chamallières (Puy-de-Dôme).
 — — HAAG, P. F. S., rue Morel-Ladeuil, Clermont-Ferrand.
 — — HUSSON, P. F. S., 107 bis, rue Isabey, Nancy.

MEMBRES CORRESPONDANTS

M.

- 1907 (9 fév.). DESMOULIN, P. F. S., 10, rue Joseph-Plateau, Gand.

DEUXIÈME SECTION. — SCIENCES PHYSIQUES

MEMBRES HONORAIRES

MM.

- 1874 (23 mai). BRANLY, M. I. Professeur Inst. Cath., 21, avenue de Tourville (7^e).
 1884 (9 avril). BOURGEOIS (Léon), R. E. P., 1, bd. Henri-IV (4^e).
 1886 (17 avril). BORDET (Lucien), 181, boulevard Saint-Germain (7^e).
 1887 (9 juillet). VALLOT (Joseph), Directeur de l'Obs. du Mont-Blanc, 37, rue Cotta, à Nice.

- 1901 (26 janv.). VINCENT, P. L. Saint-Louis, 26, rue de Staël (15°).
 — (14 déc.). BENOIST, P. H. L. Henri-IV, Gan (Basses-Pyrénées).
 1901 (28 déc.). DONGIER, Météor. tit. Obs. de Paris, 5, r. Bobierre,
 Bourg-la-Reine.
 1902 (13 déc.). MATIGNON, P. C. F., 17, bd. Carnot, Bourg la-Reine.
 1903 (28 fév.). WINTER, 44, rue Saint-Placide (6°).
 — (14 mars). BERTHELOT (Daniel), P. F. Ph. M. I., 168, boulevard
 Saint-Germain (6°).
 — — DESGREZ, P. F. M., 78, bd. St-Germain (5°).
 — (12 déc.). DARZENS, Répét. E. P., 22, av. Ledru-Rollin (12°).
 1904 (29 mai). MOUREU, M. I., M. A. M., P. C. F., 18, rue Pierre-
 Curie (5°).
 — — MAHLER, Ing. civil des Mines, 2, r. Decamps (16°).
 1904 (9 juillet). MARAGE, C. C. U. P., 19, rue Cambon (1^{er}).

MEMBRES TITULAIRES (20)

MM.

- 1905 (14 janv.). HALLION, M. A. M., 54, faub. Saint-Honoré (8°).
 1905 (11 mars). VALEUR, Agrégé F. Ph., 54, avenue de la Républi-
 que, Villejuif (Seine).
 — (1^{er} avril). GOUTAL, P., suppl. E. M., 60, boulevard Saint-
 Michel (6°).
 — (13 mai). MOUNEYRAT, 20, rue de l'Abbé-de-L'Épée (5°).
 1906 (13 janv.). MAYER, 33, rue du Faubourg-Poissonnière (9°).
 — (24 fév.). JOANNIS, P. F. S., 7, rue des Imbergères, Sceaux.
 1907 (14 déc.). BECQUEREL (Jean), I. P. C., P. M., 30 boulevard
 Thiers, Fontainebleau.
 1910 (12 mars). NICOLARDOT, 95, rue de Vaugirard (6°).
 1912 (10 fév.). TERROINE, P. F. S., Strasbourg.
 — (28 avril). SCHAEFFER (G.), P. F. S., Strasbourg, allée de la
 Robertsan, 56.
 1912 (22 juin). MOREL (L.), C. de T. E. H., 31, bd. Raspail (6°).
 — (22 juin). STODEL, M. C. E. H., 15, boulevard Delessert (16°).
 1914 (26 janv.). MONPILLARD, 22, boulevard Saint-Marcel (5°).
 — (26 janv.). TOURNAY, 10, rue de Castellane (8°).
 1923 (19 mars). CROZE, P. F. S. de Nancy, 179, rue d'Alésia (14°).
 1923 (7 mai). FERRIÉ (Général), 51 bis, avenue de la Tour-Mau-
 bourg (7°).
 — — GUILLAUME (Ch.-Ed.), pavillon de Breteuil, Sèvres.

1923 (12 nov.). BOURION, P. F. S., 65, rue du Général-Fabrier,
Nancy.

— — DARMOIS (Eugène), P. F. S., Nancy.

— — GRUMBACH, P. F. S., Nancy.

MEMBRES CORRESPONDANTS

MM.

1905 (13 mai). MATHIAS, P. F. S., Clermont-Ferrand.

1912 (9 déc.). LALOU, Prof. Jassi, Piatra N. (Roumanie).

1913 (13 janv.). LARGUIER DES BANCELS, Prof. Université, Lausanne.

1904 (23 janv.). CHAUVÉAU, 25, rue des Gentilshommes, Luçon
(Vendée).

TROISIÈME SECTION. — SCIENCES NATURELLES

MEMBRES HONORAIRES

MM.

1879 (10 mai). HENNEGUY (Louis Félix), M. I., M. A. M., P. C. F.,
9, rue Thénard (5^e).

1886 (13 fév.). BOUVIER (E.-L.), M. I., P. M., 55, rue de Buffon (5^e).

1890 (21 fév.). ROCHÉ, 4, rue Dante (5^e).

1893 (27 oct.). DE GUERNE, 6, rue de Tournon (6^e).

1894 (17 mars). ROLAND BONAPARTE, M. I., 10, avenue d'Iéna (16^e).

1899 (14 janv.). LECAILLON, P. F. S. Toulouse, 1, rue Mondran.

1899 (25 mars). NEUVILLE, Prép. Mus., 55, rue de Buffon (5^e).

1901 (12 janv.). PELLEGRIN (J.), A. M., 1, rue Vauquelin (5^e).

— (18 mai). GUIEYSSE, Chef de Lab. F. M., 26, rue Vavin (6^e).

1902 (12 janv.). CHAUVÉAUD, Direct. adj. de Lab. (Hautes-Etudes),
16, avenue d'Orléans (14^e).

— (8 fév.). RABAUD, P. F. S., 3, rue Vauquelin (5^e).

1902 (27 juin). LESAGE, Méd. des Hôp., 226, boulevard Saint-Ger-
main (7^e).

— (22 nov.). ANTHONY, P. M., 78, rue de Sèvres (7^e).

1903 (28 fév.). COUTIÈRE, P. F. Ph., 20, rue de Tournon (6^e).

— (11 avril). LANGERON, Prép. F. M., Ecole de Médecine, Paris.

— (27 juin). NOÉ, D. M., 51, boulevard Montparnasse (6^e).

MEMBRES TITULAIRES (20)

MM.

- 1889 (10 fév.). MÉNÉGAUX, A. M. 55, rue de Buffon (réintégré le 23 avril 1904) (5°).
- 1904 (9 janv.). GRANDIDIER (G.), 2, rue Goethe (16°).
- (23 janv.). JOUBIN, P. M., M. I., 21, rue de l'Odéon (6°).
- (26 mars). GRAVIER, P. M., M. I., 61, rue de Buffon (5°).
- (29 mai). MICHEL (Aug.), P. L. Michelet, 7, rue Pierre-Nicole (5°).
- (9 juil.). LAUNOY (L.), Prép. Inst. Pasteur, 17, rue de Lorraine, à Saint-Germain-en-Laye.
- 1905 (28 janv.). CAYEUX, P. C. F., P. I. A., 6, place Denfert-Rochereau (14°).
- 1909 (13 mars). LEGENDRE (R.), Direct. Lab. Hautes Etudes 27, rue d'Alésia (14°).
- 1909 (26 juin). RIVET, A. M., 61, rue de Buffon (5°).
- 1911 (11 mars). FAURÉ-FRÉMIET, Prép. C. F., 46, rue des Ecoles (5°).
- 1912 (10 fév.). GERMAIN, A. M. et à l'Institut Océanographique, 55, rue de Buffon (5°).
- — LAMY, A. M., 55, rue de Buffon (5°).
- (28 avril). SEMICHON, Prép. Mus., 55, rue de Buffon (5°).
- 1913 (13 janv.). VIGUIER, P. F. S. de Caen.
- (13 janv.). GUYÉNOT, Professeur de Zoologie, à l'Université de Genève.
- (22 déc.). MAWAS, 141, boulevard Saint-Michel (5°).
- 1923 (7 mai). NEVEU-LEMAIRE, P. F. M., 9, rue de la Montagne-Sainte-Genève (5°).
- — CHAUCHARD, D. M., D. S., 1, rue Victor-Cousin (5°).
- — CHAUCHARD (Mme), D. M., D. S., 1, rue Victor-Cousin (5°).
- 1923 (12 nov.). MAIGNON, Prof. Physiol., Ecole Vétérinaire d'Alfort, 171, rue de Tolbiac (13°).

MEMBRES CORRESPONDANTS

MM.

- 1903 (27 juin). L. PETIT, Le Taillan, Gironde.
- (28 nov.). DEVEZ, Cayenne.

- (23 avril). TUR, Ass. à l'Univ. de Varsovie.
 - (29 mai). MARCEAU, P. E. M., Besançon, à l'Ecole de Médecine.
 - (15 avril). DIGUET (L.), 16, rue Lacuée (12°).
-

SÉANCE DU 14 JANVIER

A 20 H. 30, AMPHITHÉÂTRE DE PHYSIOLOGIE.

Présidence de M. Henneguy.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

La correspondance comprend des lettres de remerciements de nos collègues élus dans la dernière séance.

Les comptes du trésorier approuvés par la commission sont adoptés : ils seront publiés dans le prochain bulletin ; des remerciements sont votés à M. Noé, dont les pouvoirs sont renouvelés pour trois ans.

M. Belot, vice-président, passant à la présidence, M. Henneguy, président sortant, est élu membre du conseil.

M. Jean Becquerel est élu vice-président.

Les membres de la société se rendent à 21 heures dans l'amphithéâtre de chimie où, conformément à l'article premier du règlement, ils entendent les deux communications suivantes, dont le résumé est publié dans ce bulletin :

- 1° M. VORONOFF : Greffes des glandes endocrines du singe à l'homme;
- 2° M. RETTERER : Evolution des glandes greffées.

Plus de 250 auditeurs ont assisté à ces conférences, qui ont été accompagnées de projections fixes et cinématographiques.

La séance est levée à 23 h. 45.

COMMUNICATIONS

Greffes des glandes endocrines du Singe à l'Homme

Par M. S. VORONOFF.

Messieurs,

Vous savez le rôle important que jouent dans notre organisme les glandes endocrines, l'influence de la glande thyroïde sur les fonctions cérébrales; des parathyroïdes sur le système nerveux; de la glande pituitaire sur la croissance des os, des surrénales sur les contractions de notre système vasculaire etc... Je ne veux pas m'y étendre et j'arrive de suite à la fonction des glandes génitales, objet de mes recherches depuis 1910.

Celles de l'homme élaborent les éléments de la vie future qui, à un moment donné, quittent notre corps pour féconder l'ovule afin de donner naissance à l'être nouveau et de transmettre à l'espèce l'énergie créatrice détenue par l'individu. Mais en même temps, elles sécrètent un liquide absorbé par notre propre sang qui porte ainsi à tous nos tissus le stimulant, l'énergie nécessaire à l'individu même. Ceci est prouvé par le fait que l'homme castré perd ces deux énergies en même temps. Désormais incapable de procréer une vie nouvelle, il voit la sienne propre profondément diminuée. Je connais bien l'état des hommes castrés pour avoir observé pendant des années les eunuques d'Egypte. Castrés avant la puberté, ils ont le corps entièrement glabre, sans barbe ni moustache, le crâne petit, les joues pendantes, les seins volumineux, le bassin élargi. Les muscles s'atrophient, la graisse les remplace, les jambes sont démesurément longues, les cartilages de conjugaison s'ossifiant très tard, les gencives et les sclérotiques sont pâles, le sang est pauvre. Les cheveux blanchissent de bonne heure. Le cercle sénile paraît vers 40 ans. La voix prend un timbre aigu.

Ils sont mous, lents, sans énergie: la mémoire est défaillante, l'intelligence paresseuse, et le moral se ressent de toute cette dégénérescence

organique. Ainsi la castration ne prive pas seulement l'homme de sa puissance sexuelle et de ces caractères purement masculins qu'on désigne sous le nom de caractères secondaires du mâle : la barbe, la moustache, l'étroitesse du bassin, comme on l'enseigne dans les traités classiques. Non, l'effet de la suppression des glandes génitales est infiniment plus profond. L'organisme privé de leur sécrétion interne s'anémie, s'appauvrit, toutes les fonctions se ralentissent et celles du cerveau en premier lieu. Peu importe si la privation de ces glandes produit directement cet effet désastreux sur l'organisme, ou si l'absence de l'hormone testiculaire retentit sur d'autres glandes endocrines, troublant leur fonction de telle sorte que les phénomènes observés seraient la résultante de toutes ces sécrétions déficientes. Cette dernière alternative est extrêmement probable, la synergie des glandes endocrines étant un fait certain, mais le point de départ, la cause efficiente des modifications survenues dans l'organisme n'en est pas moins la suppression de ces glandes génitales, et indique le rôle qu'elles jouent dans l'organisme. Ce rôle de puissantes sources d'énergie pour *tout l'organisme* est démontré également par des faits diamétralement opposés. Il existe, en effet, dans la science, des observations d'hommes doués de trois testicules ou ayant une hypertrophie de l'un des testicules. Tel est le cas publié par le Professeur Marro de Turin et qu'il a étudié en même temps que le Professeur Saechi. Voyez ce jeune homme orné d'une belle barbe et dont les jambes sont abondamment couvertes de poils. Il est petit de taille, mais robuste, bien musclé et donne l'impression d'un homme vigoureux, énergique. Eh bien, cette belle apparence, cette constitution n'est point en rapport avec l'âge de ce jeune homme. Il n'a que 9 ans ! Et s'il a l'aspect d'un homme de 20 ans, si son intelligence, comme le remarquent les professeurs Marro et Saechi, est également bien au-dessus de son âge, c'est qu'il a le testicule gauche exalté dans sa fonction par une hypertrophie de ses éléments épithéliaux. Ce testicule ayant été enlevé, voilà l'aspect du même enfant après six mois ; la barbe, les poils sont tombés (sauf les moustaches) ; la musculature a diminué et M. Marro fait remarquer que le développement intellectuel a subi depuis une régression ramenant l'enfant à l'état à peu près normal correspondant à son âge. Nous avons donc là une belle démonstration des idées que je soutiens : l'action des testicules stimule notre énergie intellectuelle et physique et ne tient pas seulement sous sa dépendance les caractères secondaires du mâle, caractères simplement liés au sexe !

Le Professeur Pende de Bologne m'a signalé un cas semblable, où un développement excessif des facultés intellectuelles et physiques, un

débordement de toutes les énergies chez un jeune peintre de 19 ans, est dû à la présence constatée de trois testicules ! J'ai du reste, reproduit expérimentalement le même phénomène chez les animaux en greffant à des petits boucs de six semaines un troisième testicule, et j'ai obtenu ainsi des boucs ayant des poils démesurément longs, des cornes immenses, un développement musculaire excessif.

Chez la femme, l'ovaire joue un rôle analogue à celui des testicules chez l'homme. On connaît les troubles profonds qui se produisent chez des femmes privées de leurs ovaires. La Presse Médicale a publié dans son numéro du 3 décembre 1923, la photographie de cette jeune personne qui a les seins bien développés, le pubis couvert de poils et qui depuis six mois est très bien réglée. Et bien, cette jeune personne est âgée de trois ans et 11 mois, et c'est l'hypertrophie de ses ovaires, qui, se répercutant très probablement sur toutes les autres glandes endocrines, lui a permis, à certains points de vue, de franchir d'un bond une dizaine d'années.

C'est donc une idée géniale qu'a conçue Brown Séquard lorsqu'il a préconisé les injections de suc testiculaire des animaux pour suppléer à l'insuffisance de la sécrétion testiculaire interne chez les vieillards, insuffisance fatale que la nature impose comme une loi inéluctable à la suite de la sclérose progressive des cellules glandulaires, d'où affaiblissement non pas des facultés mais des énergies intellectuelles et physiques. Malheureusement l'opothérapie n'offre qu'un remède bien palliatif à l'insuffisance d'une glande.

La substance morte, triturée et desséchée de ces glandes contient bien peu d'éléments actifs, et encore il aurait fallu pour imiter le procédé de la nature, que ces substances soient prises, non pas à doses massives une ou deux fois dans la journée, mais par petites quantités tout le long des 24 heures, tout le long de la vie. L'opothérapie a constitué un progrès à un moment donné, mais à notre époque de réalisations audacieuses, il y avait mieux à faire. L'idée d'incorporer dans l'organisme humain des glandes vivantes, jeunes, lorsque les nôtres ne sont plus capables d'accomplir pleinement leur fonction à la suite des altérations que l'âge a déterminées ou de quelques affections qui ont détruit complètement ou partiellement les éléments fonctionnels, a dû germer dans l'esprit de beaucoup de chercheurs dès le jour où l'on apprit le rôle immense de ces glandes. Pour ma part, je me suis attelé à cette tâche depuis plus de 10 ans. La difficulté était de faire vivre une glande empruntée sans pouvoir établir des anastomoses vasculaires directes entre les artères et les veines de cette glande et celles

de l'hôte où on la transplantait, sans pouvoir par conséquent assurer sa nutrition sanguine immédiate. En effet, les vaisseaux de nos glandes endocrines sont d'un calibre par trop exigü pour qu'une suture vasculaire puisse être pratiquée. Après de très longues recherches et des échecs multiples, si multiples qu'il fallait vraiment avoir la foi pour ne pas être découragé, je suis parvenu à vaincre cette difficulté, au moins pour ce qui concerne la greffe testiculaire. Tant que je greffais ces glandes sous la peau, dans les muscles, sur et dans le péritoine, je n'obtenais dans les meilleurs cas que des résultats éphémères, d'une durée si courte que cela ne pouvait offrir aucun intérêt pour la thérapeutique humaine. Enfin en 1917, j'ai conçu l'idée de faire vivre les fragments testiculaires en assurant leur nutrition immédiate, non pas directement par le sang mais par le plasma sanguin, comme on fait vivre dans des récipients en verre des parcelles organiques, pendant des années, dans le plasma sanguin fréquemment renouvelé. J'ai déterminé ensuite que l'endroit d'élection où je pouvais provoquer l'exsudat de ce plasma sanguin était le sac séreux qui entoure les testicules, la tunique vaginale où toute irritation ou traumatisme léger provoque si facilement cet exsudat. La pratique m'a donné raison. Plaçant dans la tunique vaginale des fragments longs et minces pour que le liquide puisse y pénétrer facilement aussitôt après la transplantation, je suis parvenu à assurer la vie et par conséquent la fonction endocrine de mes greffons pendant des années. J'en ai l'assurance, non pas seulement par la constatation des phénomènes physiologiques que j'observe après la greffe chez les animaux depuis six ans et chez les hommes depuis plus de trois ans, mais également par les examens histologiques des greffons prélevés mois par mois et étudiés par mon éminent collaborateur, le Professeur Retterer, qui vous en rendra compte lui-même tout à l'heure.

Il m'est impossible de vous exposer ici toutes les modalités de mes expériences sur les animaux et je me contenterai de vous faire voir quelques vieux béliers greffés en 1917 afin que vous vous rendiez compte du changement que la greffe d'un jeune testicule opère dans un vieil organisme.

Vous voyez celui-ci : c'était une misérable bête à laquelle on ne pouvait plus assigner d'âge, ses dents étaient déchaussées et ne marquaient plus le nombre des années.

Regardez-le quatre ans après la greffe, auprès de la brebis dont il a eu un petit. Tout commentaire est superflu.

En voilà un autre qui en 1917 devait être à la limite de la vie, c'est-

à-dire entre 12 et 14 ans (*Fig. 1*). Il était si vieux qu'il tremblait sur ses jambes, avait une toison maigre, manquant par place, et était atteint d'incontinence d'urine par affaiblissement sénile de son sphincter vésical et de l'hypertrophie de sa prostate. Naturellement, il était depuis longtemps impropre à la reproduction. Greffé en 1917, il a repris une vitalité étonnante. Toutes ses infirmités ont disparu et il a procréé un agneau en 1918 et un autre en 1919. A ce moment on a enlevé les fragments testiculaires greffés pour les soumettre à l'examen histologique de Mr. Retterer. Privé de sa source endocrinienne d'énergie, il n'a pas tardé à redevenir au bout de quatre mois une pauvre vieille bête affligée de nouveau de toutes ses infirmités : incontinence d'urine, tremblement des jambes. On lui a pratiqué une nouvelle greffe le 20 juin 1920 et voilà son aspect actuel (*Fig. 2*). C'est de nouveau un animal superbe et malgré qu'il ait dépassé de 4 ou 5 ans la limite de sa vie, il manifeste une vigueur, une énergie vraiment surprenante. Il n'a plus aucune infirmité et voilà son dernier nouveau-né, le troisième, venu au monde le 15 décembre dernier. Vous voyez toute la petite famille photographiée trois jours après la naissance de l'agneau (*Fig. 3*). Ici vous voyez le nouveau-né pris à part pour vous montrer qu'il n'a pas l'apparence chétive du petit d'un vieil animal.

J'ai opéré plus de 200 greffes sur des animaux vieux ou castrés ou même sur des jeunes pour exalter leurs fonctions testiculaires et créer comme vous venez de le voir des surboucs, des surbéliers ; et finalement les résultats physiologiques et histologiques furent tels que je me suis cru autorisé en toute conscience à appliquer à l'homme un procédé qui avait donné ses preuves sur les animaux. Je l'ai fait depuis 1920 et je compte actuellement 60 greffes humaines. J'avais dans ce dernier cas à vaincre une nouvelle difficulté : trouver les organes à greffer. Quand il s'agissait d'animaux la tâche était facile. Je les prenais aux uns pour en faire bénéficier d'autres de la même espèce. Cette pratique n'était pas de mise pour les hommes. Je ne sais pas encore à ce jour si nous avons légalement le droit d'accepter une offre volontaire de l'abandon d'un organe au profit de son semblable. J'ai reçu plusieurs de ces offres et je ne les ai jamais acceptées. Personnellement, je n'aurais aucune répugnance à enlever, avec son consentement bien entendu, un testicule à un robuste jeune portefaix pour relever l'énergie vitale, la force de production d'un Pasteur, mais je ne sais pas si dans l'état actuel de la jurisprudence, la chose est permise. Car la science a marché plus vite que la législation et je me méfie du conflit de la science nouvelle avec les vieilles lois qui ne nous autorisent

même pas à disposer des organes d'hommes jeunes, morts d'accidents. Il était pourtant regrettable que le progrès de la science, dans le cas présent, ne serve qu'aux animaux. J'ai résolu le problème en m'adressant à des êtres très proches de l'homme, appartenant à une espèce très voisine de la nôtre — à des singes anthropoïdes, le chimpanzé tout particulièrement. Par leur constitution anatomique ils ne diffèrent de nous que par quelques détails insignifiants. Même leur cerveau, comme vous allez le voir, est semblable au nôtre, et seuls avec les hommes, ils possèdent des hémisphères cérébraux si bien développés qu'ils couvrent le cervelet, lequel chez tous les autres animaux reste à nu derrière les hémisphères. Les chimpanzés ont en réalité un cerveau humain, un cerveau d'enfant.

Mais ce qu'il importe surtout de savoir, c'est que leur sang a la même composition que le nôtre, possède la même formule globulaire, les mêmes réactions biologiques. Les organes empruntés à ces singes retrouvent donc dans notre corps la même nutrition sanguine qui les a alimentés originellement, le même terrain anatomique et biologique qui permet leur parfait acclimatement. Le monde savant est resté longtemps incrédule sur la possibilité de greffer aux hommes les organes des singes anthropoïdes, car on savait que les hétérogreffes étaient vouées à la nécrose rapide. C'est, en effet, tout à fait exact pour les hétérogreffes vraies, pour la greffe, par exemple, d'un organe de chien sur un cheval ou d'un bœuf à un homme, greffe entre des espèces éloignées dont les humeurs sont même toxiques les unes pour les autres. Mais la greffe entre espèces voisines, très proches, par exemple entre l'âne et le cheval, le lapin et le lièvre, le chien et le loup, le chimpanzé et l'homme, doivent-elles être considérées comme des hétérogreffes? M. Retterer vous dira que non. Il vous expliquera que l'examen des greffons de chimpanzé prélevés à un homme 15 mois après leur transplantation dans sa tunique vaginale a montré la survivance des cellules glandulaires sans trace de nécrose. Je n'ai aucune raison de douter que pareille condition ne continue à prévaloir après quelques années de greffe, et j'ai proposé de créer une nouvelle classe de greffes — greffes entre les espèces voisines — homéogreffes — très proches des homogreffes et très éloignées des hétérogreffes.

Je suis heureux que M. Retterer soit venu apporter une preuve histologique indiscutable, mais au point de vue physiologique, je n'avais plus aucun doute à ce sujet depuis longtemps. Déjà en 1914, j'ai présenté à l'Académie de médecine dans sa séance du 30 juin, le cas d'un enfant complètement idiot, myxoedémateux, sur lequel j'ai eu l'occasion

d'observer l'effet de la greffe d'une glande de singe. Voilà sa photographie à 15 ans. Le 5 décembre 1913, je lui ai greffé, assisté par le Professeur Hobbs et le Dr Montalti, la glande thyroïde d'un chimpanzé. Voyez le résultat au bout d'un an. Pour vous édifier sur l'effet ultérieur de cette greffe sans m'y étendre longuement, je vous dirai seulement que cet enfant idiot à 15 ans en 1913, a fait bravement et intelligemment son devoir de soldat français en 1917.

Pour revenir à mes greffes testiculaires du singe à l'homme, je peux vous affirmer que leurs résultats sont aussi nets, aussi positifs.

On pouvait penser à l'auto-suggestion pendant les premiers mois, mais au bout de trois ans, il est absurde de l'invoquer, autant que d'attribuer à l'auto-suggestion la métamorphose de mes vieux bœufs, la disparition de leur incontinence d'urine, la naissance de leurs petits.

Augmentation des forces musculaires mesurées au dynamomètre, amaigrissement des obèses à la suite d'un meilleur métabolisme, abaissement constant de la pression artérielle qui de 22/24 au Pachon tombe à 12/15, amélioration de la vision des presbytes grâce à l'augmentation de la tonicité des muscles d'accommodation de l'œil, diminution de la fréquence et de la difficulté de miction chez les prostatiques, tous ces phénomènes objectifs observés par moi et par les éminents chirurgiens doublés de cliniciens, les D^{rs} Raudet et Dartigues, qui ont pratiqué les mêmes opérations, démontrent d'une façon indiscutable l'action directe de la sécrétion testiculaire interne artificiellement obtenue par la greffe.

Je vais vous faire voir à la fin de ma communication les photographies de quelques opérés qui ont bien voulu m'autoriser à le faire, et vous vous rendrez compte de ce que donne la greffe.

Quant à l'action de la greffe sur les fonctions cérébrales, elle était des plus manifestes. La plupart de nos opérés sont des intellectuels; professeurs des universités, médecins, hommes de lettres, avocats, et ils ont pu nous fournir à ce sujet des observations précises.

L'âge, l'état sénile mis à part, ne diminue pas la clarté de l'esprit. Le vieillard garde non seulement l'intelligence que la nature lui a octroyée, mais il l'a cultivée, il l'a enrichie par toutes les connaissances acquises, par toute l'expérience des choses vues et des choses auxquelles il a réfléchi (ce qui manque aux jeunes); mais la mémoire devient infidèle, la fatigue prompte, la force, l'énergie manquent pour demander à son cerveau le même rendement qu'autrefois.

Eh bien! tous ceux que nous avons greffés nous ont affirmé que leur mémoire s'est améliorée, que le travail intellectuel est redevenu aisé

et qu'ils peuvent de nouveau consacrer de longues heures à l'exercice de leur profession ou à la composition d'un ouvrage, sans éprouver cette fatigue qu'ils ressentaient avant la greffe.

Il faut qu'on se pénétre bien de l'idée que la greffe n'agit point comme un aphrodisiaque. L'hormone testiculaire obtenue par la greffe stimule directement ou indirectement, par l'intermédiaire des autres glandes endocrines, l'activité cellulaire de tous nos tissus, de tous nos organes et du cerveau, plus particulièrement à cause de la plus grande sensibilité de ces cellules au nouveau stimulant qu'elles reçoivent. Mais si la greffe active stimule tout travail cellulaire, elle ne le crée pas. Ainsi quand les cellules fonctionnelles d'un organe sont détruites par sclérose ou dégénérescence, comme c'est le cas chez certains vieillards ou chez des hommes jeunes victimes d'un processus pathologique local, l'hormone testiculaire nouvellement apportée ne trouvant pas d'éléments fonctionnels sur lesquels exercer son action, ne produit naturellement aucun effet.

L'hormone émanant de la greffe stimule à un haut degré l'activité des cellules affaiblies, mais vivantes; elle ne réveille pas les mortes.

Chez les artério-scléreux, vieux avant l'âge, chez les vieillards, les cellules cérébrales sont affaiblies dans leur activité, dans leur énergie productive, mais elles ne sont pas mortes; les muscles ont perdu une partie de leur tonicité, mais ils ne sont pas morts, et vous pouvez être certains que la greffe permettra à ces hommes de récupérer leurs facultés intellectuelles et physiques. Mais chez ces mêmes individus, les cellules fonctionnelles de leurs testicules peuvent se trouver définitivement détruites, sclérosées. Vous aurez un beau succès général et un résultat nul au point de vue de la fonction sexuelle.

Ce qu'il faut surtout demander à la greffe, c'est l'augmentation, parfois même vraiment surprenante, de l'énergie physique et intellectuelle, phénomène tellement constant après cette intervention bénigne, qu'on peut l'affirmer d'avance, tandis qu'il faut toujours faire des réserves au point de vue du pouvoir sexuel.

Le temps n'est pas éloigné où ce puissant stimulant organique sera réclamé par tout homme qui, en dépit de l'âge, aurait conservé l'amour du travail, le désir de demeurer utile à la société et de continuer une œuvre qui lui est chère.

Celui que vous voyez sur cette photographie prise la veille de l'opération est un homme de 74 ans qui a présenté un état sénile bien caractérisé. Fonctionnaire anglais, il a passé 30 ans aux Indes dans

des conditions climatiques très défavorables qui ont contribué, l'étylisme aidant, à le déprimer complètement.

Il offrait l'aspect d'un vieillard tassé, courbé, obèse, aux traits affaîsés, marchant péniblement, appuyé sur une canne. Cercle sénile très large. Mémoire très affaiblie, intelligence lente (*Fig. 4*).

Je lui ai pratiqué la greffe, le 2 février 1921.

Un an et demi après je l'ai revu tel que le montre la photographie suivante. Le changement que la greffe d'un jeune testicule a opéré dans ce vieil organisme était vraiment prodigieux. Son corps s'est redressé, la graisse avait fondu, les muscles s'étaient raffermis et il jouissait d'un parfait équilibre de santé. Ses facultés intellectuelles, sa mémoire surtout s'est améliorée à tel point qu'il pouvait réciter de nouveau par cœur des pages entières de Shakespeare.

Je l'ai revu à Londres en juillet dernier. Non seulement il avait gardé tout le bénéfice de la greffe, mais à ce moment, deux ans et demi après l'opération, son état s'est encore amélioré, comme vous pouvez vous en rendre compte par les deux photographies prises à ce moment (*Fig. 5 et 6*).

Malheureusement la greffe qui lui a permis de récupérer ses facultés intellectuelles et ses forces physiques n'a pas modifié ses habitudes d'étylisme, et une crise de délirium tremens lui était fatale en septembre dernier.

Celui-ci, architecte français, âgé de 73 ans, a présenté une tension artérielle très élevée avec max. 23 et min. 12. Il était atteint d'hypertrophie de la prostate, de varices, de bourdonnements d'oreilles dus à l'hypertension. Très déprimé, il n'était plus capable d'assurer son travail et se plaignait de grandes lacunes dans sa mémoire (*Fig. 7*).

Je l'ai opéré le 1^{er} février 1923. Voilà son aspect actuel, un an après la greffe (*Fig. 8*). Vous remarquerez l'expression d'énergie qui a remplacé l'aspect déprimé, affaîsé de la photographie précédente.

La tension artérielle de 23 est tombée à 16. Amélioration notable de la prostatite, des varices, augmentation des forces, meilleure mémoire.

Etat excellent à tous les points de vue.

Celui-ci est un homme de lettres, âgé de 65 ans, également atteint d'hypertension artérielle, très arthritique, rhumatisant, se plaint surtout de la perte de mémoire et de la capacité imaginative si nécessaire à un romancier (*Fig. 9*).

Je lui ai pratiqué la greffe le 21 mars 1923.

Voyez son aspect actuel. Dans l'espace de quelques mois, sans rien changer à son régime, il a perdu sept kilos, n'a plus souffert de rhu-

matisme, a repris l'activité physique; le travail intellectuel lui est devenu bien plus aisé (*Fig. 10*).

MM. Baudet et Dartigues pourront vous exposer les observations analogues qu'ils ont faites sur leurs opérés à Paris, mais ce que je tiens à vous faire savoir c'est que les docteurs Francis J. M. Carthy et J. D. Reeng, sous le contrôle de M. William C. Hossler du comité d'hygiène, ont pratiqué selon ma méthode la greffe testiculaire sur 27 pensionnaires de la maison de retraite de vieillards de San-Francisco.

Presque tous les vingt-sept jouissent d'une santé et d'un moral qu'ils n'avaient plus depuis des années (*Indépendance de Montréal*, numéro du 15 décembre 1923).

Le succès rencontré par ces confrères leur fait exprimer l'espoir que bien des vieillards qui sont aujourd'hui dans des maisons de pauvres pourront reprendre leur place dans la société, ayant retrouvé beaucoup de leur vigueur.

Évolution des Testicules greffés

PAR Éd. RETTERER.

Dès la plus haute antiquité les organes mâles étaient considérés comme des témoins (testes), rendant témoignage de la virilité. Non seulement, leur présence est nécessaire pour qu'il y ait continuité de l'espèce, mais ils exercent une influence générale sur tout l'organisme. Aristote s'étend longuement sur les effets qui résultent de la perte de ces organes chez les oiseaux, le cerf et l'homme. Riolan les met sur le compte de la sympathie et de la correspondance mutuelle de la tête et des organes génitaux.

Pour Régnier de Graaf, le liquide séminal ou sperme émettrait des vapeurs (*aura seminalis*) qui se répandraient dans tout l'organisme. Bordeu, au contraire, prétendait que le sperme sécrété par le testicule rentrerait dans la masse des humeurs et communiquerait une stimulation particulière à toute la machine. Ce serait un viatique journalier. Buffon insiste à nouveau sur la correspondance singulière qui existe entre les organes de la génération et l'ensemble de la constitution : alors que les bœufs sont doux, traitables, patients, dociles, « un troupeau de taureaux ne serait qu'une troupe effrénée que l'homme ne pourrait ni dompter ni conduire ».

John Hunter donna aux caractères que les glandes génitales impriment à l'organisme le nom de *caractères sexuels secondaires* : tels sont la barbe de l'homme, la crinière du lion ; la vigueur du mâle, l'agrandissement de son larynx. En 1889 seulement, Brown-Séquard inaugura la méthode expérimentale en se mettant à injecter aux animaux et à l'homme les liquides ou extraits des testicules.

Par ce moyen, il pensa fournir au sang des principes qui donnent de l'énergie au système nerveux et aux muscles. Mais les effets des injections sont temporaires, de sorte qu'il faudrait les recommencer à de courts intervalles. Alors on songea à faire vivre le testicule lui-même sur le sujet dont on voulait renforcer l'énergie vitale. En d'autres termes, on greffa le testicule tout entier ou un fragment de testicule.

Qu'est-ce que la greffe ?

De temps immémorial, l'homme avait remarqué que les troncs ou les branches de deux arbres serrés les uns contre les autres se soudent et continuent à vivre. C'est là la *greffe par approche* qui réussit entre individus de la même espèce et qui devient plus difficile entre genres d'une même famille (poirier sur cognassier ou sur néflier). Elle échoue le plus souvent entre familles distinctes.

La greffe fut également pratiquée dans l'espèce humaine, mais uniquement en ce qui concerne les téguments.

Dans l'Inde, on punissait les malfaiteurs en leur coupant le nez. Les chirurgiens indiens corrigeaient les effets de cette ablation en empruntant un lambeau à la peau du front et en le rabattant après avoir tordu le pédicule. Fabrice d'Aquapendente parle dans ses *œuvres chirurgicales* (1^{re} partie, chapitre 30) d'un autre procédé qui consiste à fixer à la tête l'avant-bras et à prendre le lambeau sur l'avant-bras ; on laisse l'avant-bras immobile pendant tout le temps nécessaire à la réunion ou soudure avant de détacher le pédicule d'avec l'avant-bras.

Que se passe-t-il dans ce lambeau cutané ? Jusque dans la seconde moitié du xix^e siècle, on l'ignora. C'est alors que Reverdin montra que c'est le revêtement épithélial qui est essentiellement actif, qui non seulement survit, mais dont les éléments se multiplient. Jusqu'à Reverdin et même au début du xx^e siècle, les médecins considéraient l'épiderme comme dû à une exsudation du tissu sous-jacent ; ce n'était qu'un vernis protecteur du derme vasculaire et seul vivace.

Reverdin transporta ou transplanta des lambeaux d'épiderme ou de fragments cutanés sur une surface dénudée de la peau. Une portion du revêtement épithélial survit, et végétant en tous sens, il finit par rejoindre l'épithélium des bords de la plaie.

Les classiques admettent que la greffe épithéliale reste épithéliale et le tissu conjonctif refait le tissu conjonctif ; les bourgeons conjonctifs et vasculaires du derme sous-jacent joueraient le rôle essentiel dans la survie.

Pour comprendre ce qui se passe dans un lambeau cutané qui est greffé, il est indispensable de savoir comment il est constitué et de connaître les éléments qui président à la régénération ou à la survie.

La peau est formée de deux membranes intimement unies, mais de structure différente : la membrane profonde ou *derme* (*derma*, peau) se compose d'un lacs de filaments les uns entrecroisés (conjonctifs ou *collagènes*), donnent de la colle, par la coction, les autres anastomosés (élastiques). Des cellules (voir plus loin) des vaisseaux sanguins et lymphatiques parcourent ce tissu. La membrane superficielle ou *épi-*

derme résulte de la « juxtaposition » et de la superposition de petites masses de 0 m. 01 à 0 m. 02 chacune appelée une *cellule*. La cellule est une masse pleine, comparable à une cerise et comprenant comme cette dernière, un corps cellulaire (chair ou protoplasma) et une vésicule qui en occupe le centre et qui a reçu, bien qu'elle soit très molle, le nom de noyau. Or, fait remarquable, lorsqu'on pratique la greffe d'un lambeau cutané, on voit survenir, dans le cas où la greffe prend, une série de phénomènes singuliers dans l'*épiderme* : les cellules de ce dernier ou cellules épithéliales se multiplient ; chacun des éléments (noyau et corps-cellulaire) se coupe en deux et les moitiés se groupent dans la portion correspondante de la cellule originelle. On a l'habitude de désigner le processus de la division sous le nom de *karyokinèse* (karion, noyau) ou de *mitose* (mitos, filament) comme si le noyau était le facteur unique de la division. M. Henneguy a montré que le corps cellulaire ou protoplasma proprement dit prend une part également active à la division ; de là le terme de *Cytodierèse* (Kytos, cellule, *διαίρεσις*, division) caractérisant mieux les phénomènes qui ont lieu dans la cellule qui se divise. Quoiqu'il en soit, la matière vivante, et, la cellule en particulier, se distingue des corps bruts par le fait qu'elle est susceptible de se diviser par séparation en deux moitiés qui continuent chacune à s'accroître jusqu'à atteindre les dimensions de la cellule mère. C'est le miracle de la multiplication des pains qui se répète incessamment dans l'organisme vivant. Ultérieurement les cellules qui ont pris ainsi naissance peuvent changer de forme, se différencier et donner naissance à des éléments de figure et de fonctions autres.

Pour voir ces faits, il ne suffit pas d'examiner un fragment de peau, à des grossissements forts. Il est nécessaire de traiter les tissus d'une façon précise, de les réduire en tranches minces et de les colorer. De plus, il faut comparer entre eux les tissus qui ont évolué dans les conditions normales et ceux qui se sont développés dans des conditions anormales, mais bien déterminées.

Dans quelles conditions les greffes cutanées réussissent-elles et quels sont les éléments qui se multiplient ?

Comme dans les végétaux, les greffes pratiquées entre individus de la même espèce prennent le plus souvent ; il n'en est pas de même si l'on pratique la transplantation sur des individus d'espèce différente.

Selon Ribbert (1), des fragments de peau humaine introduites dans

(1) *Archiv f. Entwicklungsmechanik*, t. VI, 1897.

des poches sous-cutanées d'oreille de lapin montrent de la prolifération cellulaire pendant trois jours, puis ils se résorbent.

Leo Leob et Addison (1) observèrent des images mitosiques, c'est-à-dire des signes de multiplication de cellules épithéliales dans les greffes cutanées pratiquées d'une espèce animale à l'autre. Des lambeaux de peau de cobaye transplantés sur le lapin montrèrent des mitozes épithéliales jusqu'au 8^e jour ; lorsqu'on les greffa sur le chien, les cellules épithéliales se multiplièrent jusqu'au 7^e jour, et, sur le pigeon les mitoses ne se firent que jusqu'au 5^e jour. La peau du pigeon transplantée sur la poule dura 7 à 8 jours. La peau du pigeon greffée sur le cobaye ne montra point d'image mitosique.

Schöne (2) n'a eu que des échecs en greffant des lambeaux de peau de rat sur la souris ou *vice versa*.

Avant de passer à l'étude des phénomènes qui se passent dans la greffe des autres tissus ou organes, il convient d'examiner la question suivante : lorsqu'il y a une perte de substance d'un organe composé de tissu épithélial et de tissu conjonctif, il s'agit de savoir comment se fait la réparation des deux tissus.

Pour les classiques, l'épithélium régénère l'épithélium et le tissu conjonctif répare la brèche conjonctive. Dans les plaies de la cornée, j'ai constaté que l'épithélium seul se multiplie pour recouvrir et combler la perte de substance ; ensuite la partie profonde du bourgeon épithélial se transforme en cellules conjonctives qui fournissent les éléments de la cicatrice définitive (3).

Dans les glandes, les phénomènes semblent se passer de même.

Ribbert (4) a vu les cellules hépatiques se régénérer aux dépens de l'épithélium des conduits excréteurs, mais les jeunes générations cellulaires n'arrivent pas à faire des cellules hépatiques, capables de fonctionner.

Dans les glandes salivaires, Carraro (5) arrive aux mêmes résultats : la régénération se fait aux dépens de l'épithélium des conduits excréteurs, bien que les cellules (voisines de la perte de substance) des conduits sécréteurs se divisent par voie mitosique.

(1) *Archiv f. Entwicklungs mechanik*, 1911.

(2) *Die heteroplastische und homöoplastische Transplantation*, 1912.

(3) Retterer, *Journal de l'anatomie*, 1903, p. 453.

(4) *Lehrbuch der allg. path. Anat.* 1908.

(5) *Frankfurter Zeitschrift für Pathol.* 1909. T. 3.

Pour le pancréas Kyrle (1) dit également que la régénération se fait aux dépens de l'épithélium des conduits excréteurs.

Il a étudié ces phénomènes sur les chiens et les cobayes.

Dans les autogreffes de corps thyroïde, Sultan (2) a observé les phénomènes cellulaires que voici.

Dans les cinq ou six premiers jours, la partie centrale du greffon dégénère, mais dans la partie périphérique, les follicules persistent et certains noyaux se colorent mal (signe de nécrose).

Les jours suivants, les follicules bien conservés présentent quelques mitoses dans leur revêtement épithélial.

Après 15 jours, la partie centrale nécrosée a disparu. Après trois semaines de greffe, on peut distinguer trois groupes de formations : les follicules périphériques sont les plus volumineux ; vers la partie moyenne se trouvent des amas de cellules épithéliales, traversés par des tractus conjonctifs riches en capillaires. Dans ces amas on observe beaucoup de mitoses. Le centre du greffon est formé de tissu conjonctif qui a pris la place des parties nécrosées.

Ainsi, malgré la pénétration des vaisseaux sanguins dans le greffon, les portions centrales de ce dernier se nécrosent. Les seules parties superficielles, baignées par les fluides ou plasmas du porte-greffe, survivent ; les cellules épithéliales des follicules périphériques bourgeonnent et donnent naissance à de nouveaux follicules, Sultan admet que le tissu conjonctif préexistant régénère la trame conjonctive et se substitue à la portion nécrosée.

Pfeiffer (3) greffa du corps thyroïde humain dans la rate de quatre chiens et de deux chèvres : sur deux des chiens les greffons se nécrosèrent ; sur les deux autres (41 et 46 jours après), les follicules étaient bien conservés à la périphérie du greffon. Sur l'une des chèvres, nécrose ; sur l'autre chèvre, survie du greffon durant 127 jours.

Carraro (4) fit des autogreffes et des hétérogreffes sur le rat et le lapin.

Les autogreffes réussirent ; huit jours après la greffe, les follicules périphériques du greffon avaient poussé des cylindres épithéliaux ; la partie centrale du greffon était nécrosée.

(1) *Archiv f. mik. Anat.* T. 72.

(2) *Centralblatt f. all. Pathologie u. path. Anat.* 1898.

(3) *Munch. Med. Wochenschrift*, p. 1173, 1907.

(4) *Frankfurter Zeitschrift f. Pathologie.* T. III. V. 382, 1909.

Au bout de 5 à 8 jours, les hétérogreffes avaient dégénéré. Même résultat quand on greffe la thyroïde du cobaye au lapin.

Même évolution des greffes de chien pratiquées sur le lapin.

Même chose pour les greffes humaines faites sur le chien ; cependant la thyroïde humaine greffée dans la rate ou le tissu sous-cutané du chien survit pendant 27 jours.

Les expériences de greffe de l'homme au chien confirment en partie celles de Pfeiffer.

Fleisher (1) greffa des reins de cobaye sur cobaye ou sur lapin. Il suivit l'évolution des greffons jusqu'au 31^e jour. Il n'y a point trace de régénération du tissu greffé. Pour ce qui concerne les leucocytes, voir plus loin.

Avant d'aborder l'étude des *greffes testiculaires*, il convient de résumer brièvement la structure du testicule.

Le testicule est un organe complexe ; pour en donner une idée d'ensemble, je ne puis mieux faire que de le représenter comme une immense surface cutanée ou tégumentaire, découpée en un millier de petits lambeaux. Chacun de ces derniers est enroulé en un tube revêtu, sur sa face interne, d'épithélium. Le diamètre de ces tubes n'a qu'un ou deux dixièmes de millimètre ; chaque tube se replie sur lui-même pour occuper le plus petit espace possible ; mais déroulé, il atteint la longueur d'un mètre environ, de sorte que mis bout à bout, ces tubes atteindraient, d'après les calculs de Sappey, une longueur de un kilomètre environ.

Ces tubes épithéliaux sont réunis entre eux par un tissu conjonctif et vasculaire (interstitiel) qui contient chez beaucoup d'animaux et en nombre variable, de grandes cellules découvertes par Leydig (1850), d'où leur nom de cellules *interstitielles* ou de *Leydig*. Les cellules de Leydig ont de 15 à 30 μ et contiennent du pigment jaune ou brun et des gouttelettes graisseuses. Ces tubes, ainsi que l'abondance des cellules interstitielles, varient avec l'âge. Pendant la période embryonnaire et fœtale, les tubes sont pleins, c'est-à-dire qu'ils figurent des cordons constitués par des cellules épithéliales (cellules dites Sertoliennes). Les cellules interstitielles sont nombreuses et serrées pendant la période fœtale.

Depuis la naissance jusque vers la puberté, les cellules épithéliales se multiplient et édifient peu à peu plusieurs assises cellulaires dont les

(1) *The Journal of medical Research*. T. 38. P. 353, 1918.

internes subissent la fonte ou dégèrent : de là la production d'une lumière centrale et la formation du tube.

Enfin, à partir de la puberté, les cellules épithéliales du tube se multiplient activement pour donner naissance à de nombreuses assises cellulaires dont les plus internes édifient des cellules devenant libres et mobiles (spermatozoïdes).

De distance en distance, les cellules qui évoluent en spermatozoïdes restent séparées les unes des autres par des grandes cellules ramifiées, dites *cellules de Sertoli*, restes du revêtement épithélial ou Sertolien.

Les cellules interstitielles sont abondantes dans certaines espèces rares, ou absentes dans d'autres (voir plus loin).

De ces divers éléments quels sont ceux qui agissent sur l'organisme, quels sont ceux qui sécrètent les principes ou hormones qui font pousser la crinière ou la barbe et impriment au corps les caractères sexuels secondaires ?

Bien qu'il existe des cellules de Leydig ou des cellules Sertoliennes, chez les fœtus et pendant le jeune âge, on ne voit éclore ces caractères sexuels secondaires que vers la puberté.

C'est à cette époque qu'il y a échange de sucs ou plasmas entre le testicule et le reste de l'organisme et que ce dernier se trouve influencé par la glande sexuelle. Les effets sont aussi manifestes que sur les végétaux ; mais, dans ces derniers seulement il a été possible de préciser la nature des principes qui passent, par exemple, du greffon au porte-greffe ou *vice-versa*.

A. Meyer et Schmidt (1) à la suite de Strasburger (1907), ont décelé dans les plants de pomme de terre la présence d'atropine ou de nicotine après y avoir greffé des branches de stramoine ou de tabac.

La première question qui se pose est la suivante : dans quelles conditions la greffe testitulaire réussit-elle le mieux ? Lorsqu'on implante des testicules sous la peau ou dans les muscles, l'épithélium des tubes séminipares n'édifie plus de spermatozoïdes. Il en est autrement lorsqu'on porte le greffon dans la cavité abdominale ou dans la vaginale. M. Nussbaum (2), après avoir exposé l'intestin à l'air pour le congestionner, détacha les testicules de la grenouille ainsi traitée, et les coupa en plusieurs fragments qu'il introduisit dans la cavité abdominale. 9 mois après, les fragments adhéraient au péritoine et étaient

(1) *Flora*, 1910.

(2) *Pflüger's Archiv*. T. 126, p. 566, 1909.

vascularisés. Les tubes séminipares se trouvèrent à tous les stades de la spermatogénèse.

Le tissu interséminipare ou interstitiel n'avait pas augmenté.

Introduits dans un espace lymphatique, les fragments testiculaires survivent pendant onze jours avec conservation des spermatogonies ; plus tard ils dégénèrent.

M. Pézard, introduisant dans la cavité abdominale du coq des petits morceaux de testicules y a constaté, après un an de greffe, la présence de spermatozoïdes.

Nous mêmes nous avons vu sur les mammifères le tissu testiculaire évoluer dans le sens spermatique.

Un fragment d'un testicule provenant d'un jeune bouc (stade de pré-spermatogénèse) possédait, au bout d'un an de greffe, quelques tubes séminipares avec des spermatides et des têtes de spermatozoïdes (1) ; comme au moment de la greffe, il n'y avait pas encore de spermatozoïdes dans les testicules, les spermatides et les têtes de spermatozoïdes ne peuvent s'être développés que dans le greffon même.

Lorsque le greffon prend et qu'il détermine l'éclosion des caractères sexuels secondaires, sans qu'il y ait des spermatozoïdes, quels sont les éléments qui survivent et qui exercent cette influence générale ?

Cevolotto transplanta (2) des petits fragments de testicule de lapin sous la peau de l'oreille. Il opéra ainsi huit lapins ; trois mâles, trois femelles et deux châtrés. Le résultat fut le même chez les trois groupes.

Après 24 heures, les assises centrales de l'épithélium des tubes séminipares montrent des spermatozoïdes en voie de regression.

Après 48 heures, les spermatocytes ont survécu et les canalicules sont revêtus de trois assises cellulaires. Après trois ou quatre jours, il ne reste plus que les spermatogonies ; les autres cellules ont dégénéré ; après dix jours, les canalicules se sont transformés en cordons et le tissu conjonctif aurait proliféré pour tasser l'épithélium.

15 jours après, les cellules de la lignée séminale ont disparu, et, les cellules de Sertoli se sont multipliées par mitose.

45 jours après le jour de la greffe, on ne voit que des tubes à une seule assise cellulaire. Dans la lumière du tube, on trouve des cellules épithéliales bien conservées, détachées de la paroi.

Au point de vue de la régénération, on observe dès le sixième jour

(1) Retterer, *Association Française pour l'étude du cancer*. Séance du 15 décembre 1919.

(2) *Franckfurter Zeitschrift f. Pathologie*, p. 331, 1909.

des mitoses dans les cellules de Sertoli ; plus tard les images mitosiques sont plus rares. Dans la lumière des tubes, on rencontre dès le second jour des cellules géantes à cinq ou six noyaux. Plus tard, ces cellules géantes dégénèrent. Les cellules de Sertoli n'ont plus, après la greffe, la forme cylindrique ; elles restent cubiques avec un gros noyau, vésiculeux. Donc modifications considérables de la forme du revêtement épithélial.

Notons que sur la figure 3 (pl. xiv) qui représente trois tubes séminipares d'un greffon datant de 45 jours, la membrane propre a disparu en plusieurs points et le revêtement épithélial se continue directement avec le tissu conjonctif interséminipare.

Une remarque s'impose en ce qui concerne la durée des expériences. Si l'on examine la figure 3 de Cevolotto, qui représente une coupe de testicule greffé depuis 45 jours, on voit que tous les éléments sont bien conservés, avec cette différence que les cellules des tubes séminipares ont changé de caractères et de structure et que les tubes ont en partie perdu leur membrane propre. Il est regrettable que Cevolotto n'ait pas prolongé l'expérience pour savoir ce que ces éléments deviendront plus tard. Il se borne à dire qu'ils sont dégénérés. Dans nos expériences qui ont une durée d'un an ou davantage, nous avons toujours vu (dans le greffon qui survit) les cellules non seulement survivre, mais se transformer.

H. Poll (1) après avoir enlevé les testicules à des oiseaux, les a transplantés sous la peau du cou. Les greffons ne tardèrent pas à se résorber.

En 1891, Steinach a commencé des expériences de greffe testiculaire sur les rats et les cobayes.

Il les a continuées, puis il a publié en 1917 les résultats histologiques qu'il a obtenus.

Steinach (2) greffa des testicules de très jeunes cobayes (infantiles) dans une fente (écorchure) de la paroi abdominale d'un autre cobaye, de façon à placer le testicule dans le tissu sous-cutané. La greffe fut pratiquée au moment de la castration ou quelques jours après.

Déjà au bout de quelques semaines, le contenu des tubes séminipares a dégénéré (der Inhalt verfällt der Degeneration). Il ne reste que le

(1) *Sitzungsberichte der Gesellschaft der Naturfreunde*, no 6, p. 331, 1909.

(2) *Archiv f. Entwicklungsmechanik*, T. 42, p. 318, 1917.

revêtement des cellules Sertoliennes. Quant au tissu interséminipare, les cellules de Leydig persistent, isolées ou formant des nids cellulaires. Le tissu conjonctif augmente et constitue une masse compacte. Selon Steinach, le tissu conjonctif prolifère, mais il ne donne pas les marques de la division cellulaire. Il se borne à dire que les cellules conjonctives acquièrent un corps cellulaire et un noyau volumineux et deviennent des cellules « succulentes ».

Il ne resterait donc que le tissu interstitiel que Steinach appelle la « glande de puberté », du testicule.

Quelques mois après la greffe, les cellules Sertoli dégénèrent elles-mêmes et la glande de puberté est uniquement composée de couches isolées de cellules de Leydig, entourées de tous côtés de tissu conjonctif.

Ces amas de cellules de Leydig persistent plusieurs mois.

Dans l'explication des figures 2 et 4, représentant une coupe de testicule greffé depuis huit mois, Steinach les désigne sous le nom de « *glandes génératives atrophiées* ». Il représente un revêtement épithélial, qu'il appelle couche Sertolienne. Quant au tissu interséminipare, il aurait proliféré et ses cellules contiendraient des « enclaves sécrétoires ». La paroi propre des tubes séminipares est conservée et même figurée très épaisse.

Pézar (1) a trouvé dans des testicules greffés (après castration incomplète) au bout d'un an environ, 1° ou bien un tissu à mailles conjonctives contenant soit des groupes de quelques cellules à cytoplasma clair et à gros noyaux ; 2° ou bien des canaux séminifères avec figures de préspermatogénèse, 3° ou bien, enfin, des canaux séminifères avec spermatozoïdes dans la lumière du canal ».

Dans une autre expérience, avec castration incomplète (*fig. 41*) : 1° des tubes séminifères à lignée séminale et même spermatozoïdes ; 2° des tubes dégénérés, réduits à un protoplasma vacuolaire avec noyaux sertoliens ; 3° au milieu, tissu conjonctif à noyaux aplatis. Pézar résume ses résultats d'évolution histogénétique des greffons dans les termes suivants ; « les nodules de régénération sont formés de tissu conjonctif au milieu duquel sont noyés des tubes séminifères plus ou moins dégénérés ». Il ajoute cependant : « Le tissu conjonctif n'a plus l'aspect du paracachyme interstitiel classique ».

Elio Sechi (2) après avoir castré des lapins, a greffé des fragments

(1) *Bulletin biologique de la France et de la Belgique*, T. LII, 1918.

(2) *Sul Trapianto del Testicolo Rivista di biologia*, Vol. V, 1923, p. 329.

de testicules du même lapin ou d'un autre lapin sous la peau du dos. Il résume les résultats de ses expériences qui sont au nombre de dix-huit dans les termes suivants : dans deux cas les éléments de Sertoli avaient augmenté ; dans cinq cas, ce sont les éléments interstitiels qui s'étaient hypertrophiés ; dans neuf cas, le greffon s'était transformé en tissu conjonctif. Une fois, le greffon s'est nécrosé, et, une autre fois, il s'est résorbé.

La figure 4 qui illustre le travail de Sechi est des plus instructives ; elle représente une coupe du testicule greffé depuis trois mois : les tubes séminipares ont un revêtement épithélial constitué par quatre ou six rangées de noyaux, les uns petits et chromatiques, les autres plus volumineux et clairs. Ces noyaux sont réunis par un cytoplasma commun. Sur la plupart des tubes séminipares, la membrane propre a disparu et le syncytium des tubes se continue à la périphérie avec des trainées de tissu constituées par des petits noyaux chromatiques, très serrés et réunis par un cytoplasma peu abondant, mais plus sombre que celui des tubes séminipares.

Sechi explique cette figure en écrivant : « Tubuli seminiferi con elementi di Sertoli ».

Cette figure concorde avec celles de Cevolotto et avec la nôtre (*Fig. 3*) et comporte, à mon avis du moins, l'explication suivante : les cellules des tubes séminipares ont, après la greffe, changé d'évolution et de structure : elles ont évolué en un complexus ou syncytium ne produisant plus de spermatozoïdes, mais se transformant de la périphérie vers le centre ou tissu conjonctif jeune.

Au mois d'octobre 1923, M. Max Thorek (de Chicago) a fait à la société de chirurgie de Paris un exposé des résultats qu'il a obtenus par la greffe testiculaire, pratiquée sur les singes cynocéphales (*C. porcarius*) et cercopithèques (*macacus*, *rhésus* et *nemestrinus*). La greffe a été faite dans la région rénale.

Après avoir castré l'un ou l'autre de ces singes M. Thorek a attendu un temps suffisant pour permettre l'établissement de l'insuffisance. Avant de greffer un testicule, il a soumis ce dernier aux rayons X pour détruire le revêtement séminal et pour convertir l'organe en un « interstitiellome ». La greffe de ces testicules sur un autre sujet castré a produit une manifestation des caractères sexuels secondaires, et, en particulier, une influence érotique cérébrale.

M. Thorek a soumis ses préparations à l'examen de ses auditeurs ; nous y reviendrons plus loin. Pour expliquer les images histologiques présentées par les greffons, M. Thorek admet qu'après l'atrophie des

cellules de la lignée séminale, les cellules interstitielles ou de Leydig ont proliféré pour se substituer à l'épithélium. Cependant il concède que les cellules de Sertoli et les spermatogonies peuvent jouer un certain rôle dans l'influence générale que le greffon exerce sur l'organisme.

Les résultats variables de nos devanciers tiennent à plusieurs causes : région où la greffe a été pratiquée, durée des expériences et surtout la façon de lier les faits entre eux par des hypothèses au lieu de s'efforcer de les expliquer par les lois de l'histogenèse. Les auteurs sont restés à la période désignée par Cl. Bernard sous le nom d'*empirisme expérimental*. Tous admettent dans le testicule l'existence de deux ou trois glandes distinctes : l'une servant à perpétuer l'espèce, l'autre (éléments Sertoliens), à nourrir les éléments de la lignée séminale, et, la troisième préposée à conférer à l'organisme les caractères virils ou sexuels secondaires. Les cellules Sertoliennes ou interstitielles assureraient la sécrétion des hormones. D'autre part, lorsque le greffon ne montre plus d'éléments épithéliaux, les cellules de Leydig se seraient multipliées, auraient étouffé la lignée séminale et les cellules Sertoliennes et assumé seules la fonction de sécrétion interne. En un mot, le tissu épithélial et le tissu conjonctif auraient chacun sa vie propre, ils seraient même antagonistes, car ils seraient constamment en lutte et tendraient à se substituer l'un à l'autre.

Pour tous les expérimentateurs que nous venons de citer, le rôle de l'histologiste consiste à débiter le greffon en coupes fines et à les colorer d'une façon élective ou spécifique. En comparant ces coupes, pensent-ils, à celles du tissu normal, il suffirait de noter le développement différent de l'élément épithélial et du tissu conjonctif pour savoir ce qui s'est passé dans le greffon. Pareille méthode est défectueuse. Il faut suivre de semaine en semaine, il faudrait même le faire de jour en jour, les modifications que subissent l'une et l'autre espèce cellulaire du greffon. Un premier point capital à établir est le suivant : dans le tissu greffé, quel est l'élément épithélial ou conjonctif qui se multiplie ? quel est celui qui présente des images mitotiques ? Jamais observateur n'en a vu dans le tissu conjonctif ou interstitiel et cependant celui-ci augmente. Comment le tissu conjonctif peut-il devenir plus abondant, jusqu'à étrangler et étouffer l'élément épithélial s'il est impossible d'observer *directement* des signes de prolifération dans le tissu conjonctif ? Dans de nombreux organes normaux (amygdales, appendice, téguments, etc.), j'ai vu que les phénomènes évolutifs se passent tout autrement et aboutissent cependant à la formation de tissu conjonctif. De même que la cellule épithéliale est l'élément originel de

tous les tissus, elle produit, par ses transformations, le tissu conjonctif d'un grand nombre d'organes fœtaux et adultes. Il faut noter d'ailleurs qu'au point de vue génétique, la cellule épithéliale représente un élément moins évolué que la cellule conjonctive. Si, comme on l'observe dans les plaies tégumentaires, il existe une perte de substance, c'est essentiellement la cellule épithéliale qui prolifère et fournit les éléments de la régénération non seulement épithéliale mais encore conjonctive.

J'eus la bonne fortune d'avoir un matériel très riche pour vérifier sur les greffons le bien-fondé de mes observations et de mes réflexions. M. S. Voronoff vint, en effet, il y a six ou sept ans, me proposer d'étudier les greffes testiculaires qu'il avait pratiquées.

J'acceptai avec d'autant plus d'empressement que depuis dix ans je n'ai pas le moyen de faire des expériences et que je n'ai même plus à ma disposition un chenil pour abriter des animaux en expérience.

Voici le résumé des images histologiques que j'ai observées sur les greffons que m'a remis M. S. Voronoff.

A. — Greffe de fragments de testicule de bouc à bouc ou de bélier à bélier.

Les fragments de testicule furent transplantés dans la tunique vaginale, milieu plus naturel que le tissu conjonctif. La circulation sanguine est interrompue ; mais comme nous le verrons, la sérosité de la vaginale, comme celle du péritoine suffit, ou est même très favorable à la nutrition des tissus greffés.

Les testicules qui ont servi de greffons étaient empruntés à de jeunes boucs qui approchaient de la puberté ; le tissu testiculaire se trouvait au stade de préspermatogénèse, c'est-à-dire que les tubes séminipares, larges de 0^m, 1 à 0^m, 2 étaient revêtus de cinq à six rangées de cellules épithéliales dont les rangées centrales ne présentaient encore ni spermatides ni spermatozoïdes (*Fig. 2*).

Dans les premiers mois consécutifs à la greffe. Les cellules épithéliales se multiplient comme l'avait vu Cevolotto et comme Sechi l'a confirmé. Mais les jeunes générations cellulaires prennent une structure différente de celle des cellules épithéliales originelles : elles ne conservent pas le type de cellules bien limitées car elles se transforment en un cytoplasma commun à nombreux noyaux (*syncytium*) (*Fig. 3*).

De plus, toute limite nette du tube avec le tissu conjonctif s'efface, c'est-à-dire que la membrane propre elle-même du tube disparaît en se transformant en tissu conjonctif réticulé.

Pareille évolution se poursuivant, les cordons syncytiaux diminuent de diamètre, tandis que le tissu réticulé intercordonal augmente. Le tissu interséminipare qui séparait à l'origine des tubes séminipares ne reste pas tel qu'il était dans le principe, car il évolue en tissu fibreux, constituant au bout d'un an de greffe de minces lames fibreuses, cloisonnant le tissu réticulé (*Fig. 4*).

La figure 5 représente à un grossissement plus fort deux cordons de la figure 3 : sur la coupe, chaque cordon figure un amas ou follicule clos de tissu conjonctif embryonnaire, c'est-à-dire un syncytium protoplasmique à nombreux noyaux entre lesquels commencent à se développer des filaments granuleux d'autant plus abondants qu'on considère une portion plus voisine de la périphérie du cordon.

Les phénomènes évolutifs du greffon sont identiques dans les greffes que nous avons faites de bélier à bélier.

Chez le bouc et le bélier, les cellules de Leydig sont rares et jamais je n'en ai point vu présenter d'image mitotique. Ce ne sont donc point ces cellules qui peuvent donner naissance au jeune tissu conjonctif dans lequel se transforme peu à peu le greffon testiculaire.

Si l'on examine ce tissu conjonctif jeune, on y constate l'apparition de lymphocytes. Ceux-ci ne sauraient être fournis par les vaisseaux sanguins, car le greffon, du moins sa portion centrale, reste avasculaire. Ils n'y viennent pas non plus par migration, car les lymphocytes sont, à mon avis, dépourvus de mouvements amiboïdes. Par une étude attentive, il est facile de se rendre compte de l'origine de ces lymphocytes : dans le tissu conjonctif jeune, une portion du cytoplasma devient vacuolaire et se fluidifie. Si cette fonte protoplasmique s'étend sur toute la portion périphérique d'une cellule, le noyau de ce dernier devient libre avec un même liseré cellulaire et devient un lymphocyte.

B. L'évolution du testicule de chimpanzé greffé à l'homme est analogue à celle des greffons testiculaires de bouc transplantés à un bouc ou à celle du bélier au bélier. Voronoff a greffé à un homme de 60 ans des fragments de testicule de chimpanzé qui au moment de la greffe avaient les dimensions et la structure suivantes : Longs de 2^{cm},5 ils avaient une largeur de 1^{cm},3 en moyenne. Le testicule greffé avait, lors de la greffe, une structure semblable, à des nuances près, à celui que nous avons décrit antérieurement (1). Cependant il provenait d'un individu plus âgé, car on n'y observait plus d'ovules mâles (*Fig. 6*).

(1) *Journal d'Urologie* 1923, p. 417 ; — Retterer et Voronoff, *Onzième Congrès international de Physiologie* (fig. 7), Edinburgh, 1923.

Les tubes séminipares avaient à peu près la structure de ceux du jeune bouc (*Fig. 7*) et étaient tapissés d'un revêtement épithélial au stade de préspermatogenèse.

Ils étaient tous circonscrits par une membrane propre très nette. Les tubes étaient serrés les uns contre les autres et le tissu interséminipare était plus réduit que sur le premier chimpanzé. Nous n'avons pu trouver une seule cellule de Leydig.

Voici l'état des greffons après 15 mois de greffe.

1^{er} Greffon. — Il figure un nodule gros comme une aveline, d'un diamètre moyen de 10^{mm}. Ce nodule se compose de trois couches : 1^o la masse centrale est d'apparence glandulaire ; elle a une épaisseur variant de 0^{mm},5 à 1^{mm} ; 2^o une couche moyenne, molle, qui est épaisse de 1 à 2^{mm} ; 3^o la couche ou coque externe fibreuse, est la plus épaisse, car elle atteint selon les endroits, de 2 à 3^{mm}.

La masse centrale est formée de tissu conjonctif semé de cordons la plupart pleins, quelques-uns avec une petite lumière axiale, les cordons épais de 20 à 30 μ , sont distants de 30 à 40 μ . Le tissu intercordonal représente un tissu conjonctif dense, riche en éléments cellulaires. Les cordons manquent de membrane propre, et, le tissu des cordons paraît de prime abord amorphe. Un examen attentif des coupes fines et colorées de façon intense, décèle un réticulum délicat à mailles très serrées avec, de distance en distance, des noyaux de 5 μ composés chacun d'un grain chromatique de 2 μ et d'une zone de nucléo plasma de 1,5 μ .

Ces cordons correspondent à la portion moyenne et centrale des tubes séminipares dont la portion externe et la membrane propre se sont transformées en tissu conjonctif intercordonal.

La couche ou zone moyenne du nodule rappelle le tissu réticulé à mailles vides des ganglions lymphatiques ou du tissu lymphoïde.

Des noyaux chromatiques partent de nombreux filaments hématoxylinophiles qui se ramifient et s'anastomosent avec ceux des éléments cellulaires voisins.

Pour déterminer l'origine et le mode de développement de ce tissu réticulé à mailles vides, il faut étudier les extrémités des cordons de la masse centrale qui confinent à la zone moyenne. En ces points, les cordons montrent des noyaux très chromatiques de 4 à 5 μ entourés chacun d'une étoile de filaments radiés et anastomotiques.

Ce sont les mêmes noyaux que ceux que nous avons décrits dans

les cordons de la masse centrale, mais ayant acquis au voisinage de la zone réticulée, plus de chromatine.

La *coque fibreuse* du nodule se compose de lamelles concentriques de tissu conjonctif dense avec des cellules fusiformes ou aplaties. De plus, en de nombreux endroits, surtout au voisinage de la zone réticulée, elle contient de nombreux follicules clos, dont les uns sont arrondis ou ovoïdes, d'un diamètre de $0^{\text{mm}},2$ à $0^{\text{mm}},3$, tandis que les autres sont allongés, à grand axe de $0^{\text{mm}},6$ à $0^{\text{mm}},7$ et à petit axe de $0^{\text{mm}},2$ à $0^{\text{mm}},3$. Leur grand axe est parallèle aux lames concentriques de la coque. Les petits follicules sont constitués par un tissu serré et plein de cellules conjonctives. Les grands follicules se composent, outre ce tissu plein, d'amas de cellules serrées semblables à ceux qui continuent l'extrémité périphérique des cordons de la masse centrale.

La figure 8 permet de se rendre compte de la structure de ces trois couches et des transformations que subissent les éléments cellulaires.

On voit en 1, l'extrémité périphérique de la masse centrale : les cordons (1) sont constitués par un cytoplasma commun dans lequel se trouvent de nombreux noyaux. Ces derniers possèdent un grain chromatique entouré d'un nucléoplasma clair (en 1). Les cordons sont réunis par un tissu conjonctif réticulé qu'aucune limite ne sépare des cordons. En d'autres termes, la membrane propre des tubes ou cordons séminipares n'existe plus.

Vers la périphérie (en 2 et en 3) se trouve la *zone réticulée à mailles vides*. En 2 et sur le pourtour de l'extrémité périphérique des cordons, il est aisé de voir comment le cytoplasma plein des cordons donne naissance au tissu réticulé à mailles vides : la portion chromatique des noyaux augmente de volume. La zone de nucléoplasma s'élargit également, le cytoplasma se modifie, car il apparaît des espaces cloisonnés par les filaments et granuleux et hématoxylinophiles. C'est ainsi que se développe la zone de tissu réticulé à mailles vides (en 3).

A la face externe de cette zone (en 4), les mailles vides se rétrécissent, et, à leur place apparaissent des trainées de fibrilles conjonctives qui se colorent en rouge intense par la fuchsine acide.

Dans la coque fibreuse existent de nombreux follicules clos, inclus en pleine trame fibreuse. La figure 9 représente une partie de l'un de ces follicules clos avec quelques lamelles fibreuses (1, 1) qui l'entou-

(1) Cevolotto avait vu sur les greffons de testicule, quelque temps après la transplantation, des noyaux vésiculeux qu'il prit à tort pour des noyaux en voie de dégénérescence.

rent. Le tissu du follicule (3) est constitué par un cytoplasma commun parsemé de noyaux ; mais de distance en distance, il contient des traînées ou amas à noyaux plus serrés et inclus dans un cytoplasma sombre très colorable (2). Ces traînées et ces amas figurent les extrémités des cordons séminipares qui ont évolué, en certains points, plus lentement que le reste de la zone réticulée.

Ils ne sauraient provenir de l'émigration des lymphocytes du portegreffe dans la zone fibreuse. En effet, le tissu des follicules clos est plein, et, les noyaux qui se trouvent dans le cytoplasma ne sont pas libres, à moins qu'on admette que les lymphocytes, d'abord libres, se soient fusionnés par leurs corps cellulaires. Cette hypothèse nous semble peu probable.

2^e Greffon — Long de 12^{mm} large (vers le milieu) de 8^{mm} et épais de 6^{mm} ce greffon ne contenait plus qu'une petite portion centrale d'un demi millimètre, constitué par des cordons testiculaires qui sont réunis par un tissu intercordonal dense.

La zone réticulée, épaisse seulement de 0^{mm} 08 est essentiellement de tissu à mailles pleines d'hyaloplasma. Le reste du greffon est formé d'une coque fibreuse où il n'existe que quelques rares et petits follicules : En un mot, le second greffon se trouve à un stade évolutif plus avancé que le premier.

Dans les greffes pratiquées de bouc à bouc ou de béliet à béliet, le revêtement épithélial des tubes survit, mais se transforme en un syncytium qui évolue en un tissu réticulé à mailles d'abord pleines d'hyaloplasma, puis vides. Pareille transformation se fait sur une large échelle, mais fort lentement. Dans la greffe du testicule de chimpanzé sur l'homme, on assiste à une évolution semblable, mais la zone de tissu réticulé est mince ; cependant le tissu réticulé persiste pendant quinze mois, c'est-à-dire que les cordons épithéliaux continuent à se transformer en tissu réticulé.

Ces résultats nous ont portés à faire les expériences suivantes, pour savoir si les greffons prennent indifféremment ou d'une autre manière du béliet au chien ou du chien au béliet.

C. — Greffe du béliet au chien.

Après trois mois de greffe, le greffon, qui avait au moment de la greffe une longueur de 2^{cm} 5 et une largeur de 1^{cm} 5, ne figurait plus qu'un nodule de 4 à 5^{mm}. Ce nodule était composé : 1^o d'une couche périphérique, fibreuse, épaisse de 1^{mm} 5 ; 2^o d'une couche moyenne de 0^{mm} 5,

et 3° d'une masse centrale de 2 à 3^{mm}. La couche moyenne était formée de tissu réticulé à mailles pleines d'hyaloplasma, de noyaux chromatiques de 4 μ en moyenne partant des filaments hématoxylinophiles qui se ramifiaient et s'anastomosaient pour former un réticulum dont les mailles de 2 à 3 μ sont remplies d'hyaloplasma.

Ce tissu réticulé est cloisonné par des cordons (*Fig. 10*), épais de 15 à 18 μ constitués par des noyaux identiques aux précédents, mais réunis entre eux par un rare cytoplasma granuleux avide d'hématoxyline. en travers, nombre de ces cordons montrent un canalicule central. Il est facile de se convaincre que ces canalicules ne sont que les restes des tubes séminipares : le revêtement épithélial s'est transformé en un syncytium dont la portion axiale est encore occupée sur nombre d'entre eux par un mince canalicule.

D. — Greffe du testicule du chien au bélier.

Au bout de trois mois, il n'existe plus, à la place du greffon, qu'une masse en pleine dégénérescence.

En résumé : Survie temporaire quoique très courte des greffons du bélier sur le chien ; dégénérescence rapide des greffons du chien sur le bélier.

Ces résultats légitiment, il nous semble, les conclusions suivantes.

1° Après la greffe des testicules, pratiquée entre individus de la même espèce ou d'espèces voisines, l'épithélium des tubes séminipares se multiplie et ceux-ci deviennent des cordons. A partir de la périphérie, le membre propre y compris le nouveau tissu évolue et se transforme en tissu d'abord réticulé, puis fibreux.

Dans les homogreffes, cette transformation se fait plus lentement que dans les hétérogreffes ;

2° Le tissu testiculaire du chimpanzé, greffé à l'homme, survit et se transforme lentement en tissu réticulé, puis fibreux. Pendant toute cette évolution, il exerce, pendant 15 mois dans notre observation sur l'homme, une action qui se traduit par la vigueur physique et intellectuelle du porte-greffe ;

3° Les fragments de testicule du bélier greffés sur le chien se nécrosent dans leur portion centrale ; mais leurs couches périphériques se transforment en tissu réticulé dont il persiste encore une large zone après trois mois de greffe ;

4° Des fragments de testicule de chien transplantés sur le bélier

dégénèrent et se nécrosent si vite qu'au bout de trois mois, *il n'en reste plus trace*.

Résultats. — Placées dans des conditions différentes de milieu et de nutrition, les cellules du greffon évoluent dans un sens différent de l'état normal.

Tout en survivant, le tissu conjonctif ne montre aucun signe de prolifération; la cellule épithéliale seule présente des images mitotiques; mais au lieu de produire des cellules épithéliales, elle donne naissance à des éléments qui prennent les caractères d'une masse commune à nombreux noyaux (syncytium). Ultérieurement ce syncytium se transforme en tissu conjonctif jeune (tissu réticulé). Par fonte du cytoplasma cortical de certaines cellules, des noyaux entourés d'un faible corps cellulaire deviennent libres; c'est ainsi que se développent les lymphocytes, et qu'apparaissent les mailles vides du tissu réticulé.

Si le greffon provient d'un testicule prépubère, pubère ou adulte, ses cellules épithéliales possèdent un cytoplasma pourvu des propriétés masculines ou viriles qui, par échange avec le porte-greffe, impriment à ce dernier les caractères sexuels secondaires. Ce n'est qu'à l'époque où le tissu réticulé a disparu et qu'il ne reste qu'une trame fibreuse que le greffon cessera ses fonctions de sécrétion interne.

CRITIQUE EXPÉRIMENTALE.

Avant de comparer nos résultats à ceux de nos devanciers, rappelons quelques faits évolutifs.

Selon l'âge et les conditions de milieu, le revêtement épithélial des tubes séminipares varie considérablement.

A. — Chez le fœtus et les jeunes animaux, les tubes séminipares contiennent deux sortes de cellules: 1° de petites cellules ayant l'apparence et la disposition de cellules épithéliales dites cellules de Sertoli; 2° des cellules volumineuses, sphériques, à cytoplasma transparent (*ovules mâles* de Ch. Robin, cellules sexuelles primordiales, *Ursamenzellen* ou *archispermocytes*). Voir ci-dessus la figure 6.

Parmi les chimpanzés dont j'ai étudié les testicules, les uns avaient encore des ovules mâles dans leurs tubes séminipares, tandis que les autres n'avaient qu'un revêtement épithélial dépourvu d'ovules mâles. M. Voronoff a fait l'observation intéressante que voici: les greffons de testicules possédant encore des ovules mâles sont moins actifs au point de la sécrétion interne que ceux qui sont dépourvus de ces éléments.

Il en faut conclure que le testicule ne commence à élaborer des produits de sécrétion interne qu'à partir de l'époque de la préspermatogenèse, c'est-à-dire à l'âge de la puberté.

B. — Une fois que les ovules mâles ont disparu et vers l'époque de la puberté, les cellules épithéliales se multiplient et forment de nombreuses assises cellulaires (*Fig. 7*). Si le testicule ne descend pas dans les bourses (cryptorchidie) où si l'on greffe le testicule, ces cellules restent *temporairement* épithéliales (cellules dites sertoliennes par les auteurs) et ne produisent point de spermatozoïdes.

Lorsque, par contre, le testicule occupe son milieu naturel et reste muni de son canal excréteur, la plus grande partie des cellules épithéliales se divisent activement et édifient les éléments de la lignée séminale (spermatogonies, spermatocytes, spermatides et spermatozoïdes). Quelques-unes seulement (cellules sertoliennes proprement dites) demeurent au repos pour se remettre plus tard à former de nouvelles lignées séminales.

Les raisons pour lesquelles nous nous éloignons de nos devanciers sont multiples : 1° terrain ou région où est implanté le tissu greffé ; 2° durée de la survie du greffon et 3° la manière tout autre dont nous comprenons l'évolution des éléments qui constituent le greffon. Il nous faut passer rapidement en revue ces divers points et tâcher de montrer que tous les expérimentateurs ont observé des faits vrais ; mais, comme le dit C. Bernard « *dans sa Pathologie expérimentale*, les interprétations des faits sont relatives aux connaissances que nous possédons ; nous devons souvent changer d'opinion sur la manière de comprendre tous les résultats des expériences. »

Rappelons d'abord une observation d'anatomie comparée et de pathologie humaine.

Chez la plupart des mammifères les conditions de milieu, et plus spécialement la situation des testicules exercent une influence prépondérante sur l'évolution de l'épithélium séminipare. Chez les vertèbres inférieurs, puis chez les cétacés et les éléphants, les testicules restent toujours dans la cavité abdominale et édifient dans cette situation des spermatozoïdes. Chez d'autres (rongeurs, chauves-souris) les testicules quittent la cavité abdominale à l'époque du rut pour se loger dans les bourses et alors seulement produisent des spermatozoïdes. Chez l'homme et la plupart des autres mammifères, les testicules occupent les bourses chez l'animal adulte, et, s'ils n'y descendent pas, il n'y aura pas de développement de spermatozoïdes, c'est-à-dire que les cryptorchides sont inféconds.

Il y a beau temps que les médecins et même le public avaient remarqué que les cryptorchides sont des êtres faibles et timides, pourvus d'une voix grêle et languissante. Godard a confirmé ces faits en ce qui concerne l'espèce humaine.

Les chevaux cryptorchides ressemblent à l'homme cryptorchide en ce qui concerne l'absence de spermatozoïdes ; mais, d'après les observations des vétérinaires, ils s'en distinguent au point de vue général : ils jouissent la plupart d'une vigueur physique et d'une endurance remarquables.

Ainsi, chez de nombreux mammifères, la situation extra-abdominale des testicules est une condition *sine quâ non* du développement des spermatozoïdes. Ce fait est à rapprocher de l'évolution du tissu greffé, selon qu'on l'implante dans le tissu conjonctif ou sur une séreuse.

Les uns transportent le fragment testiculaire entre la peau et le cartilage de l'oreille, d'autres sous la peau du dos, d'autres encore dans les muscles. Toutes ces régions peuvent permettre une survie plus ou moins temporaire, mais l'expérimentation a démontré que le lieu d'élection est la surface d'une séreuse. C'est dans les séreuses que les greffes prennent le mieux. Les expériences de H. Fischer (1) sont péremptoires.

Des morceaux de pancréas de grenouilles furent greffés par l'une de leurs extrémités sur la paroi libre de la cavité abdominale, tout le reste de la surface du greffon flottait librement dans la cavité. Bien que les capillaires pénétrassent dans le greffon par l'extrémité adhérente, les tubes épithéliaux du pancréas ne survécurent qu'à la surface du greffon, c'est-à-dire dans toute la portion superficielle de ce dernier baignant dans la sérosité péritonéale. Du 11^e au 30^e jour, ces cellules épithéliales de la surface montrèrent de nombreuses images mitosiques.

Après avoir été transplanté dans la vaginale (séreuse), le tissu testiculaire ne se nourrit plus que par imbibition. Cet affaiblissement de la nutrition amène un changement évolutif : Les cellules épithéliales des tubes séminipares continuent à se multiplier et leur accumulation transforme le tube en un cordon. De plus, les cellules qui constituent le cordon ont des limites indistinctes et figurent un syncytium. A partir de la périphérie du cordon le cytoplasma se modifie, car il apparaît un réticulum basophile qui cloisonne la masse syncytiale. Plus

(1) *Archiv f. mik. Anatomie*; T. 77. 1911.

tard, le protoplasma transparent, ou hyaloplasma, contenu dans les mailles du réticulum devient vacuolaire et se résorbe. C'est ainsi que les cordons donnent naissance à des zones de tissu réticulé qui, s'ajoutant au tissu interséminipare ou interstitiel, augmentent d'autant en étendue pendant que le diamètre des cordons diminue.

Par fonte du protoplasma, certains noyaux entourés d'un mince liseré cellulaire deviennent libres ; c'est là le processus qui fait apparaître de nombreux lymphocytes dans le tissu réticulé.

Ultérieurement, la fonte ne se produisant plus, le reste du tissu réticulé se transforme en un nodule fibreux.

Pareille évolution de l'épithélium est physiologique dans de nombreux organes. Je me borne à citer les amygdales et l'appendice. Les cellules des bourgeons épithéliaux qui en constituent les ébauches se fusionnent également, et donnent naissance par multiplication à un tissu réticulé, d'abord à mailles pleines, puis à mailles vides. La mise en liberté de certaines portions cellulaires par fonte protoplasmique y détermine également la formation de lymphocytes. Que je cite un exemple de cette similitude de développement : pendant que j'étudiais les greffons de bouc et de béliet, mon collaborateur le docteur Lelièvre, préparateur aux travaux pratiques d'histologie, est venu me voir. Je lui ai demandé de faire le diagnostic des préparations. « Ce sont des coupes d'amygdales, me répondit-il, après les avoir examinées. »

Ce n'est pas pour la vaine gloriole de parler de moi que je cite ces faits de développement ; mais en les méconnaissant, on ne saurait interpréter l'évolution des testicules, comme je l'ai dit déjà. M. Thorek a bien voulu nous montrer les préparations de ses greffes testiculaires. Or, les images que j'ai vues sur ces préparations rappellent celles qu'on observe lors du développement des amygdales et montrent des cellules épithéliales se transformant en tissu d'abord syncytial, puis réticulé.

Je regrette donc de ne pouvoir me ranger à l'opinion de M. Thorek qui met toute cette évolution sur le compte des cellules de Leydig.

La présence des lymphocytes dans le greffon est due à la fonte du protoplasma de certaines cellules et à la mise en liberté du noyau et d'un mince liseré cytoplasmique.

Il est inutile d'incriminer le pouvoir émigrateur des lymphocytes du porte-greffe comme fait Léo Loeb (1) qui attribue un rôle considérable

(1) Voir L. Loeb, *The Journal of Medical Research*. T. 38, p. 13, 1918.

aux lymphocytes en ce qui concerne la survie des homogreffes, lesquelles seraient envahies par les lymphocytes. Dans les hétérogreffes, peu de lymphocytes pénétreraient dans le greffon dont les éléments se nécroseraient sous l'influence des fluides toxiques venant du porte-greffe.

La théorie de Loeb s'appuie sur une hypothèse qui n'est pas démontrée, savoir : les mouvements amiboïdes des lymphocytes. Dans nos expériences, nous trouvons une coque fibreuse de 3 à 4^{mm} ; comment les lymphocytes s'y prennent-ils pour traverser cette cloison et pour former des amas de tissu réticulé à mailles pleines ? D'autre part, comment expliquer l'influence prolongée du greffon sur l'organisme du porte-greffe, si les tissus du greffon deviennent la proie des leucocytes ? Ceux-ci s'empareraient des hormones du greffon et, sans les modifier, les transplanteraient au porte-greffe !

Dans nos expériences de greffes testiculaires, nous avons vu survivre les cellules épithéliales qui se multiplient pour transformer les tubes en cordons. Ensuite, le tissu épithélial se convertit en tissu réticulé. Il se fait une fluidification d'une partie du cytoplasma qui se résorbe et communique au porte-greffe les caractères ou propriétés des éléments greffés. Un certain nombre de noyaux avec un mince corps cellulaire deviennent libres ; c'est là l'origine des lymphocytes qu'on observe dans le tissu réticulé du greffon.

Au lieu de voir dans la cellule épithéliale l'élément jeune, capable, lorsque les conditions se changent, d'évoluer en tissu conjonctif, les classiques considèrent la cellule conjonctive et la cellule épithéliale comme deux éléments toujours en lutte et, par conséquent, antagonistes.

En greffant un tissu formé d'éléments épithéliaux et conjonctifs on affaiblirait la vitalité de l'élément épithélial. Pour le testicule en particulier, la cellule épithéliale, source de la lignée séminale, s'atrophierait, puis viendrait le tour de la cellule de soutien ou de Sertoli. Le tissu conjonctif, interséminipare ou interstitiel, gagnerait en vitalité, proliférerait et se substituerait aux éléments épithéliaux. Comme on attribue aux cellules interstitielles la fonction endocrine, cette explication se trouverait confirmée par la greffe.

Cette théorie se fonde sur l'immuabilité et la spécificité cellulaires.

A mon avis, au contraire, la cellule épithéliale, comme toute matière vivante, change de structure et de fonction, selon les conditions et où elle est placée.

La cellule interstitielle ou de Leydig ne saurait être la source de la sécrétion interne. Très abondantes, chez l'embryon et le fœtus, elles

n'impriment aucun caractère sexuel secondaire au jeune être. Chez le bouc et le bélier adultes, les cellules de Leydig sont peu nombreuses. Tous ceux qui ont étudié les testicules de ces animaux sont d'accord sur ce point. Schmaltz (1) insiste sur la rareté des cellules interstitielles dans le testicule du bouc et du bélier : « *Die Zwischenzellen sind ganz auffallend spärlich* ».

Chez le chien, continue Schmaltz (*loc. cit.*, p. 826), les cellules interstitielles sont en nombre très variables d'un sujet à l'autre; mais elles sont plus abondantes que chez le bélier. Les cellules interstitielles n'entourent point les tubes séminipares du chien; elles ne se rencontrent que dans les espaces ménagés entre plusieurs tubes.

Plus les cellules de Leydig sont clairsemées et difficiles à percevoir, prétendent certains histologistes, plus leur action est énergique et efficace.

Autre difficulté : si les cellules de Leydig contribuent à former le tissu du greffon, elles devraient proliférer. Or, de l'aveu unanime des histologistes, jamais personne n'a pu observer une image mitotique dans l'une quelconque de ces cellules.

Récapitulons, encore une fois, les faits connus avant de porter un jugement sur cette question si discutée.

Le nombre des cellules interstitielles ou de Leydig est considérable chez les embryons et se maintient jusque vers la puberté.

Après la puberté, leur nombre diminue. Il n'y a pas de cellules de Leydig dans les testicules de la marmotte en sommeil hivernal; tandis qu'en été on en voit beaucoup. Chez la taupe, absence ou rareté de ces cellules au mois de décembre, et grande abondance au mois de juin et de juillet. Par l'expérimentation, Lipschütz (2) a montré que toutes les conditions qui retardent le développement des tubes séminipares favorisent l'hypertrophie du tissu interstitiel, surtout si le pharenchyme testiculaire est bien vascularisé.

Le défaut de vascularisation des greffons semble expliquer l'absence des cellules interstitielles; mais, pour quelles raisons le bouc et le bélier en ont-ils si peu? pour quels motifs manquent-elles dans les testicules des jeunes chimpanzés? Je ne vois aucun fait nouveau particulier contre la manière de voir que je défends depuis longtemps, à savoir que les cellules de Leydig sont des cellules conjonctives engrais-

(1) *Ellenberger's Handbuch f. mikros. Anatomie der Haustiere*, T. 2, p. 23. 1911.

(2) *Pflüger's Archiv.*, T. 197, p. 318. 1922.

sées ou en voie d'engraissement. Les chimpanzés amenés dans notre climat sont fort mal nourris ; d'où l'absence des cellules de Leydig.

Les résultats auxquels vient d'arriver R. Wagner, un collaborateur de Lipschütz, ne font que me confirmer dans mon opinion. R. Wagner (1) a fait une étude soignée des cellules interstitielles du testicule chez le lapin, le cobaye, le hérisson, la souris, le chat, la taupe, et l'homme. Si les cellules interstitielles sont des éléments si variables, c'est qu'elles se trouvent à divers stades fonctionnels dans un seul et même testicule. Les jeunes cellules interstitielles contiennent des enclaves très avides de fuchsine acide.

Les cellules interstitielles qui manquent de graisse chez l'embryon contiennent chez l'adulte, des lipoides qui affectent la figure de formations falciformes entourant une vacuole. Ces formations se colorent avec le soudan III, ce qui indique leur nature graisseuse bien que R. Wagner soit porté à considérer les cellules interstitielles comme des cellules glandulaires, R. Wagner regarde comme très hasardée l'opinion de ceux qui, d'après le nombre plus ou moins considérable des cellules interstitielles, concluent à la fonction endocrine de ces cellules.

Il est une autre circonstance dont on ne tient pas suffisamment compte, c'est la *durée des expériences*. La matière vivante évolue, c'est-à-dire que sa structure change au fur et à mesure qu'on s'éloigne du moment où la greffe a été pratiquée.

Il est donc impossible que des greffons de une ou deux semaines ou de quelques mois offrent la même structure que ceux d'un an et davantage. La caractéristique de la matière vivante est de se modifier, de changer sans cesse et de ne jamais rester immuable.

Or la plupart des expériences pratiquées par les auteurs ne dépassent point l'espace de plusieurs mois. L'exemple suivant que j'emprunte à l'histoire de la fonction endocrine du testicule est plein d'enseignements. On sait que de nombreux rongeurs et carnivores ont le gland du pénis armé d'épines cornées. F. de Bormann (2) a examiné le pénis du cobaye auxquels son maître Lipschütz avait extirpé les testicules.

Huit cobayes, les uns âgés de quelques jours et les autres de deux à trois mois, montrèrent un arrêt de développement et même une atrophie relative des épines cornées ou odontoïdes qui garnissent le gland de

(1) *Anatomischer Anzeiger*, T. 56, p. 599, 1923.

(2) *Skandin. Archiv f. Physiologie*, 1922, p. 241.

ces animaux. Ces animaux furent en observation les uns pendant 75 jours, les autres durant 300 et deux autres pendant 630 et 651 jours. Comme F. de Bormann trouva encore des rudiments d'odontoïdes, il dit (*loc. cit.* p. 244) « que les choses doivent en rester là c'est-à-dire qu'il faut admettre qu'il n'y aurait plus de changement ultérieur. »

F. de Bormann a eu tort d'imiter l'exemple de ceux qui passent sous silence tous les travaux ne portant pas l'estampille de telle ou telle maison et qui répètent avec les personnages de Molière : « nul n'a l'esprit scientifique, hors nous et nos amis. »

L'influence du testicule sur le pénis ne s'exerce pas uniquement sur ce qui concerne la transformation cornée du revêtement papillaire, mais encore sur les cellules épithéliales elles-mêmes. Mais, pour voir ces faits, il faut s'adresser à des animaux, tels que le chat qui survit dix ou douze ans à la castration (1).

Sur ces chats, castrés depuis de longues années, il y avait non seulement absence d'épines cornées sur le gland, mais en de nombreux points, le revêtement épithélial avait proliféré et produit des bourgeons épithéliaux qui pénétraient dans le derme et simulaient des invaginations glandulaires.

La castration entraîne donc à la longue l'atrophie complète des odontoïdes ; de plus, elle provoque une transformation évolutive dans le revêtement épithélial. Celui-ci continue à survivre et à se multiplier mais il est, en l'absence de testicules, incapable d'édifier des organes cornés. Nous avons résumé ces faits dans les termes suivants : « Il ne s'agit pas uniquement d'un développement inégal des parties existant chez l'animal entier et châtré... (3) Il y a transformation d'une espèce cellulaire en une autre espèce... Au lieu de demeurer indifférent ou banal, l'épithélium devient corné ».

F. de Bormann (3) a tort d'admettre un état définitif ou stationnaire : les épines cornées se développent sous l'influence de l'excitant testiculaire ; lorsque les testicules disparaissent, elles rétrogradent et finissent par disparaître, comme fait toute matière vivante qui est soustraite aux agents tels que l'hérédité, les facteurs externes ou internes qui en ont provoqué l'apparition et l'accroissement.

(1) Voir Retterer (*Comptes rendus de la Soc. de Biologie*, 2 juillet 1887, p. 128, Retterer et Lelièvre, *Journal de l'Anatomie* 1914, p. 24 et

(2) Retterer et Voronoff, *La glande génitale mâle*, Paris 1921, p. 21.

(3) F. de Bormann ne parle que d'un développement moindre des odontoïdes chez les cobayes châtrés.

Donc le testicule modifie l'épithélium du gland en déterminant l'évolution cornée du revêtement de certaines papilles; l'action qu'il exerce sur les muscles et le système nerveux n'est pas moins nette, bien que nous n'en connaissions que les résultats physiologiques.

Tous les expérimentateurs sont d'accord sur ce point, mais ils ne s'entendent pas encore sur l'élément testiculaire qui produit cet effet : pour les uns c'est la cellule de Leydig; pour les autres, celle de Sertoli : A mon avis, la cellule épithéliale du testicule pubère en est l'agent. De plus, lorsque après la greffe, la cellule épithéliale se transforme en tissu réticulé, les éléments de ce dernier continuent à verser dans le sang du porte-greffe les plasmas ou hormones dont ils sont chargés.

Tous nos devanciers attribuent à la cellule épithéliale, d'une part, au tissu interséminipare, d'autre part, des propriétés antagonistes en ce qui concerne l'évolution et la sécrétion. A mon avis, la cellule épithéliale est l'élément originel qui, quand les conditions de nutrition changent, comme après la greffe, se transforme en tissu conjonctif, tout en transmettant, pendant ces transformations, ses propriétés à l'organisme ou au porte-greffe.

Qu'on veuille comparer les faits essentiels qu'ont observés les expérimentateurs avec les nôtres : *les premiers jours ou les premières semaines*, les tubes se sont transformés en cordons, le diamètre de ces cordons a ensuite diminué, tandis que le tissu intercordonal a augmenté. Ce tissu intercordonal a la structure de tissu conjonctif jeune réticulé, et il y apparaît des éléments libres sous la forme de lymphocytes. Enfin, après la résorption ou disparition des lymphocytes, la trame réticulée évolue en tissu fibreux.

Si notre interprétation diffère, c'est que nous ne comprenons pas de la même façon que les classiques l'évolution cellulaire, les relations génétiques ou la filiation de la cellule épithéliale et de la cellule conjonctive.

A notre avis, l'évolution des cellules épithéliales du testicule se fait, après la greffe, suivant les mêmes lois que celles qui régissent les membranes tégumentaires, les amygdales et les follicules clos. Pour nos contradicteurs, la cellule épithéliale et la cellule conjonctive tendent sans cesse à s'attaquer et à s'étouffer l'une l'autre. Quoique classique depuis un siècle, cette théorie est erronée : le tissu conjonctif ne représente que le deuxième stade évolutif de la cellule épithéliale.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Avant la naissance et pendant l'enfance, il existe des cellules de Leydig et de Sertoli, sans qu'il se développe l'énergie dite virile, la crinière ou la barbe, l'agrandissement pour ainsi dire hypertrophique du larynx ou d'autres caractères sexuels secondaires. Ces caractères n'apparaissent qu'à l'époque où l'épithélium des tubes séminipares se multiplie abondamment et édifie de nombreuses assises cellulaires (préspermatogénèse), avant le moment même où certaines de ces cellules se transforment en spermatozoïdes.

La greffe de testicules en préspermatogénèse (bouc, bélier, chimpanzé) confère au porte-greffe tous les caractères sexuels secondaires même en l'absence des cellules de Leydig. La cellule de Leydig n'est qu'une cellule conjonctive engraisée ou en voie d'engraissement; elle n'existe point sur les animaux en sommeil hivernal, sur les chimpanzés transportés en Europe; elle disparaît totalement dans les greffons dont la nutrition est toujours amoindrie.

Bien que l'épithélium des tubes séminipares cesse en général d'édifier des spermatozoïdes dans les greffons, il survit, et, dans les premiers temps, il se multiplie de façon à transformer les tubes séminipares en cordons pleins. Le contenu de ces cordons évolue, mais au lieu de rester épithélial, il se transforme en tissu conjonctif jeune ou réticulé à mailles d'abord pleines puis vides.

Le tissu épithélial, puis le tissu en lequel il se transforme continuent à posséder les propriétés originelles qui, par échange avec le porte-greffe, agissent sur l'organisme. Dans la cryptorchidée, comme après la greffe, le testicule conserve son pouvoir de sécrétion interne. Ce sont les produits de cette sécrétion interne qui modifient les cellules cérébrales, le système musculaire, etc.; ils déterminent le stimulus ou désir sexuel et développent la force nécessaire pour placer les spermatozoïdes. La fonction de sécrétion interne est plus générale que celle de la sécrétion externe; elle précède cette dernière et persiste alors que la formation des spermatozoïdes cesse de se faire (cryptorchidée, greffe). Sans être une panacée universelle, la greffe du testicule du Chimpanzé, notre plus proche parent, permet de faire profiter l'homme des effets bien-faisants de cette sécrétion interne, de façon à relever ou à améliorer certaines débilités héréditaires ou acquises.

Communication de M. S. VORONOFF.

Fig. 1. — Vieux bélier avant la greffe.

Fig. 2. — Même bélier cinq ans et demi après la greffe.

Fig. 3. — Même bélier six ans après la greffe avec la brebis et leur agneau.

Fig. 4. — M. E. L..., à l'âge de 74 ans et demi au moment de la greffe.

Fig. 5. — Le même à 76 ans, dix-huit mois après la greffe.

Fig. 6. — Le même à 77 ans, deux ans et demi après la greffe.

Fig. 7. — M. X... avant la greffe.

Fig. 8. — Le même huit mois après la greffe.

Fig. 9. — M. Ch. M... avant la greffe.

Fig. 10. — Le même sept mois après la greffe.

Communication de M. RETTERER.

Fig. 1. — *Coupe d'un greffon de testicule de lapin, après 3 mois de greffe (d'après Sechi).*

Fig. 2. — *Portion de testicule de jeune bouc (avant la greffe).*

Fig. 3. *Portion du même testicule de bouc (après deux mois de greffe).*

Fig. 4. — *Portion du même (après 14 mois de greffe).*

1, travées fibreuses; 2, 2, reste du tube ou cordon séminipare sous la forme de follicules clos; 3, 3, tissu réticulé à mailles vides.

Fig. 5. — *Deux follicules de la figure 4 avec le tissu interfolliculaire.*

Fig. 6. — *Coupe de jeune chimpanzé avec ovules mâles.*

Fig. 7. — *Coupe du testicule du chimpanzé qui a servi à la greffe.*

1, tubes séminipares dont la plupart n'ont qu'une faible lumière ou sont pleins; 2, tissu conjonctif interséminipare; 3, membrane propre.

Fig. 8. — *Portion du greffon du testicule précédent (après 15 mois de greffe sur l'homme).*

1, portion de la masse centrale avec cordons testiculaires; 2, zone périphérique de ces cordons; 3, couche réticulée; 4, coupe de la couche fibreuse.

Fig. 9. — *Portion d'un follicule de la coque fibreuse.*

1, 1, lamelles fibreuses; 2, restes des cordons testiculaires; 3, tissu réticulé à cytoplasma commun et à mailles pleines.

Fig. 10. — *Portion du greffon d'un fragment de testicule de bélier transplanté sur le chien.*

1, zone centrale en dégénérescence entourant le centre nécrosé du greffon; 2 et 3, couche de tissu réticulé avec les restes des cordons.



Fig. 4. — Vieux bélier, né 14, avant la greffe.

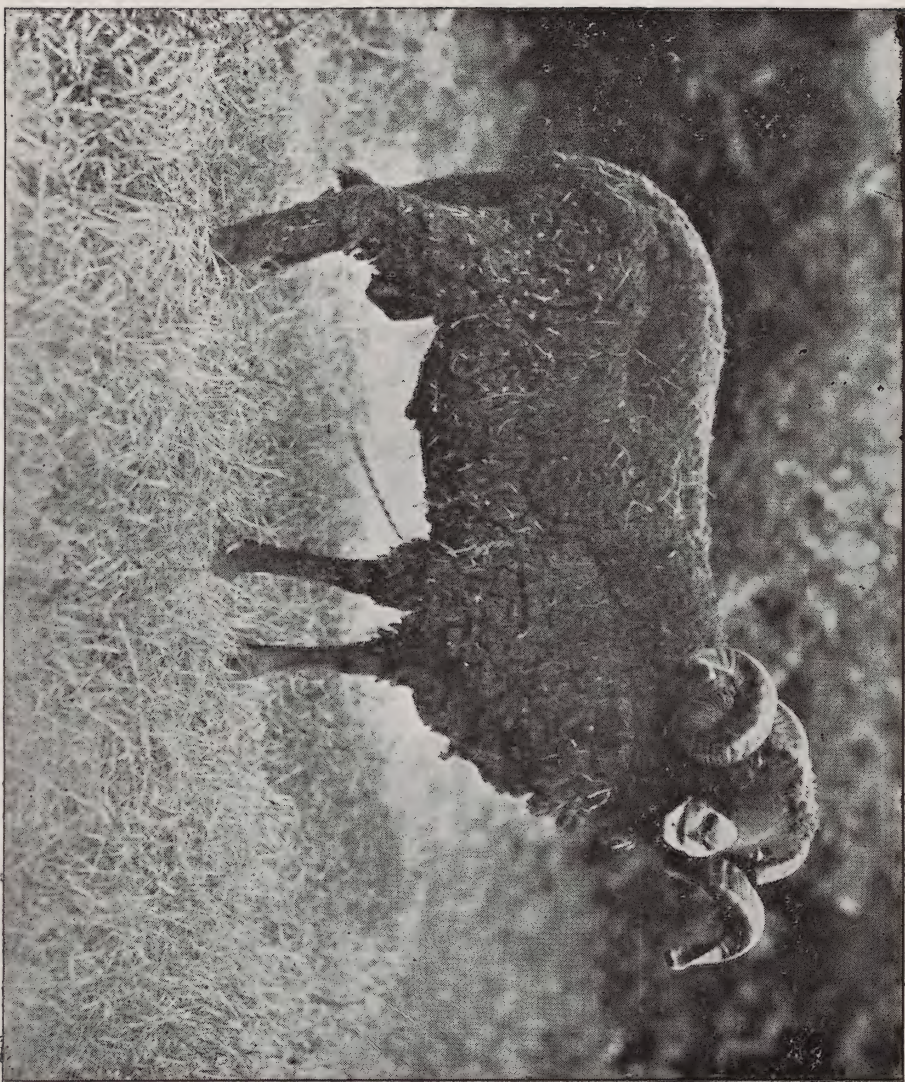


Fig. 2. — Vieux bélier, n° 14, cinq ans et demi après la greffe.



Fig. 3 — Vieux bélier, n° 14, six ans après la greffe avec la brebis et leur agneau, né le 15 déc. 1933.



Fig. 4. — M. E. L..., à l'âge de 74 ans et demi.
Photographie prise au moment de la greffe.

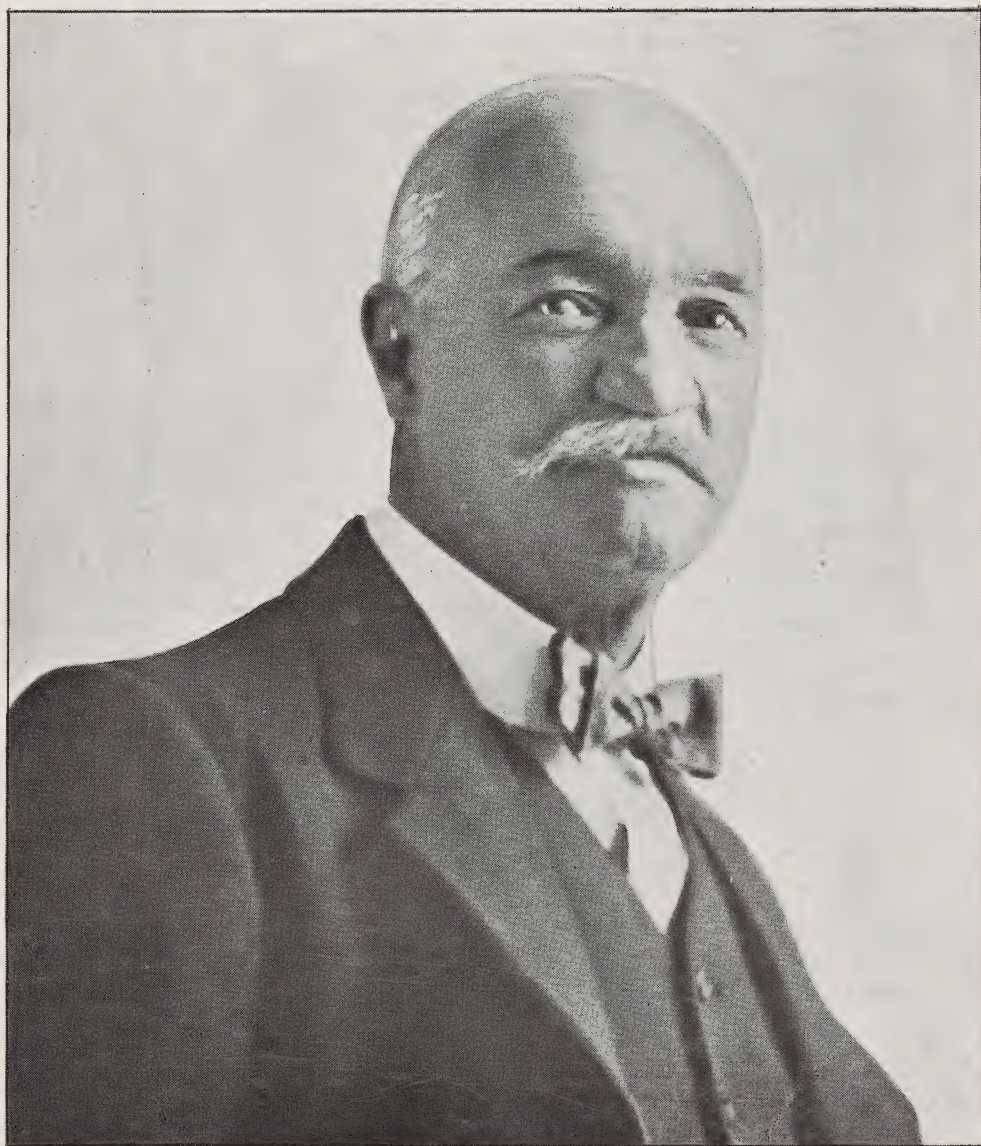


Fig: 5. — M. E. L. à l'âge de 76 ans.
Photographie prise dix-huit mois après la greffe.



Fig. 6. — M. E. L., à l'âge de 77 $\frac{1}{2}$ ans.
Photographie prise deux ans et demi après la greffe.



Fig. 7. — M. X... avant la greffe.



Fig. 8. — M. X... huit mois après la greffe.



Fig. 9. — M. Ch. M... avant la greffe.



Fig. 10. — M. Ch. M..., sept mois après la greffe.

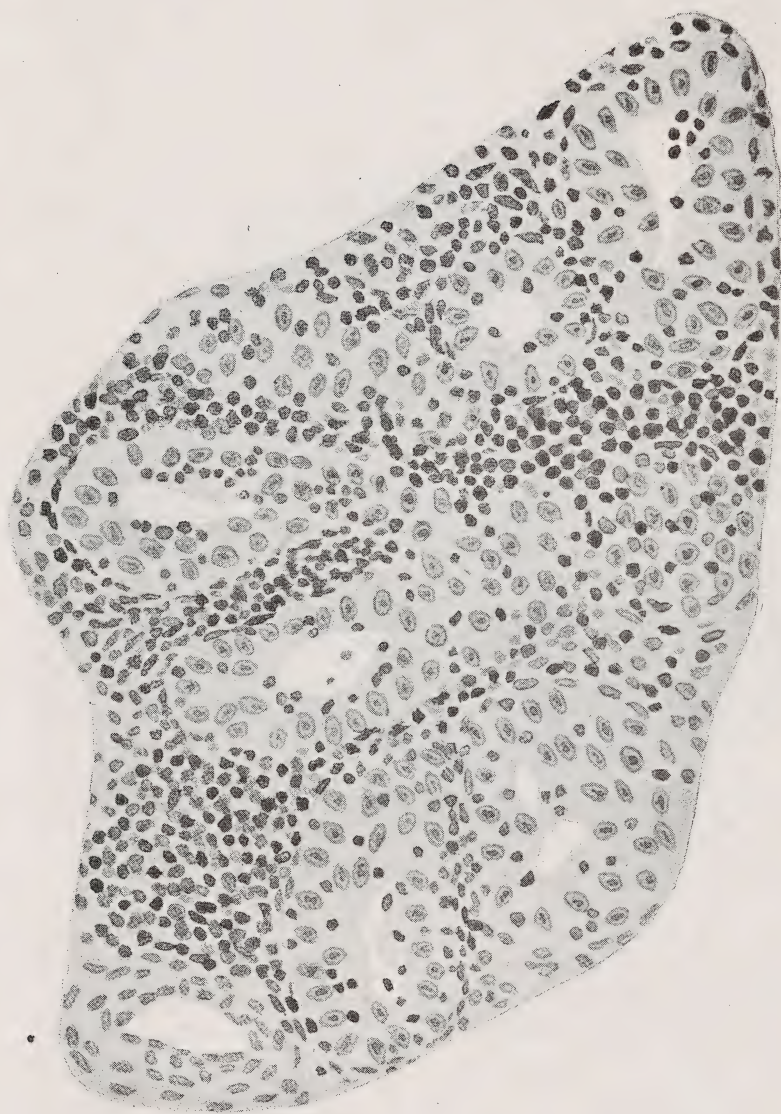


Fig. 1. — Coupe d'un greffon de testicule de lapin après 3 mois de greffe (d'après Sechi).

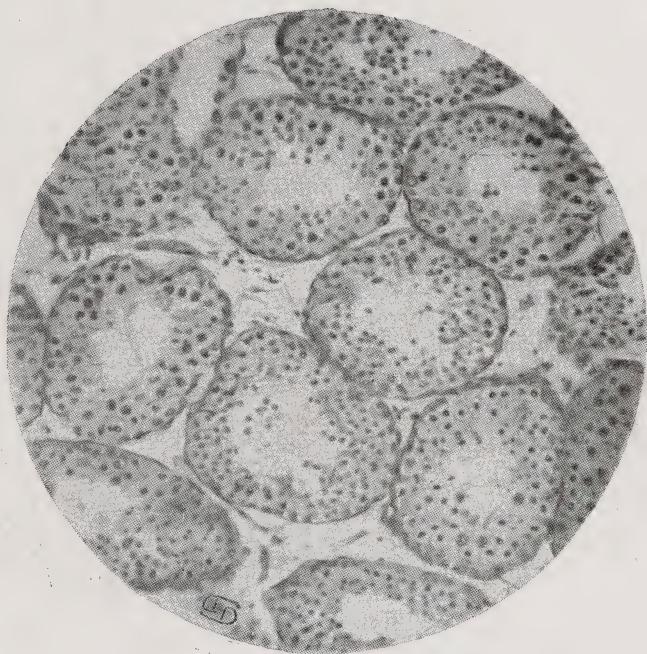


Fig. 2. — *Portion de testicule de jeune bouc (avant la greffe).*

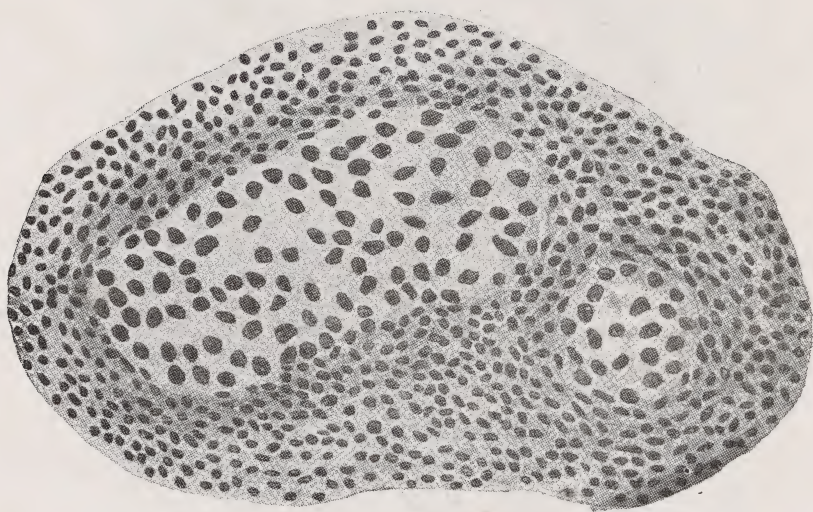


Fig. 3. — *Portion du même testicule de bouc (après 2 mois de greffe).*



Fig. 4. — *Portion du même* (après 14 mois de greffe).
 1, travées fibreuses ; 2, 2, reste du tube ou cordon séminipare sous la
 forme de follicule clos ; — 3, 3, tissu réticulé à mailles vides.



Fig. 5. — Deux follicules de la figure 3 avec le tissu interfolliculaire

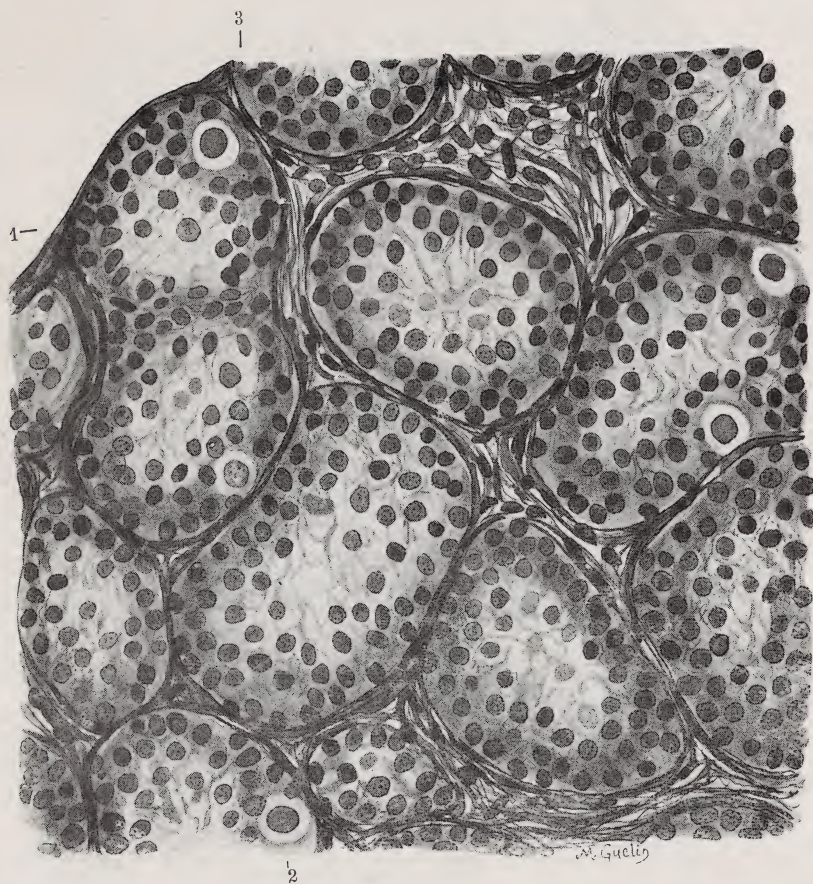


Fig. 6. — Coupe de testicule de jeune chimpanzé avec ovules mâles.

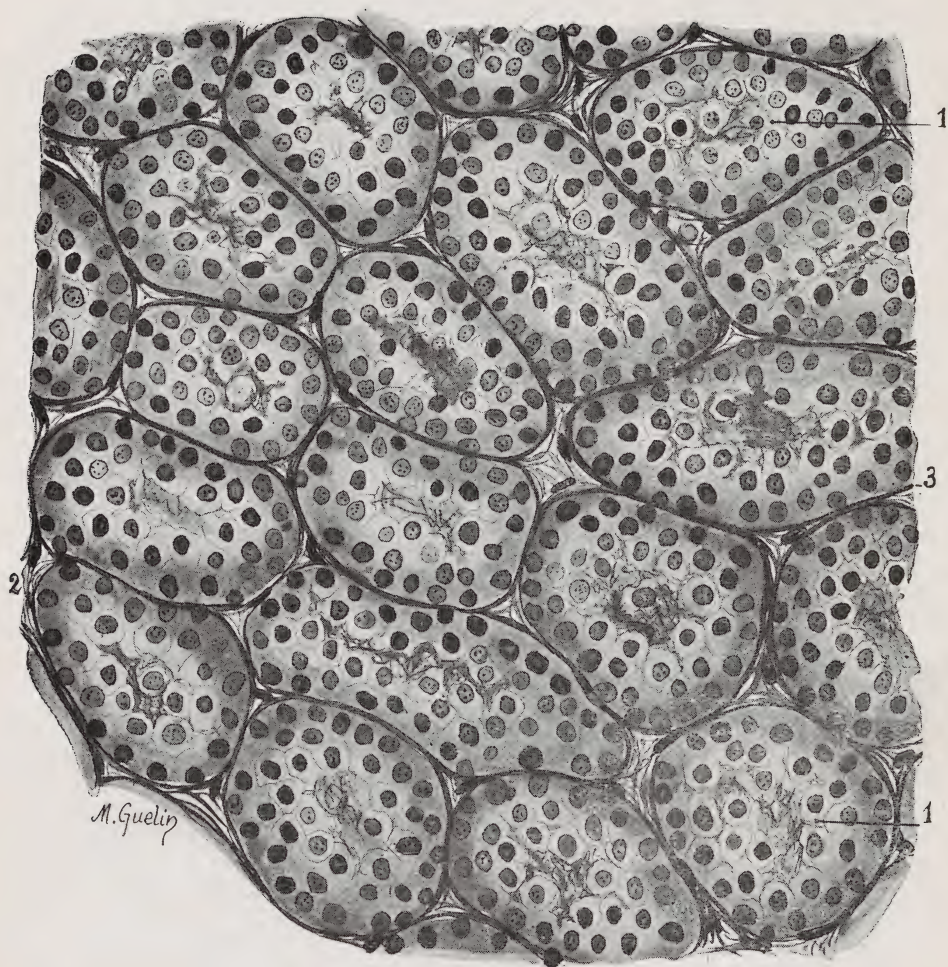


Fig. 7. — Coupe du testicule du chimpanzé qui a servi à la greffe.



Fig. 8. — *Portion du greffon du testicule précédent* (après 15 mois de greffe sur l'homme).

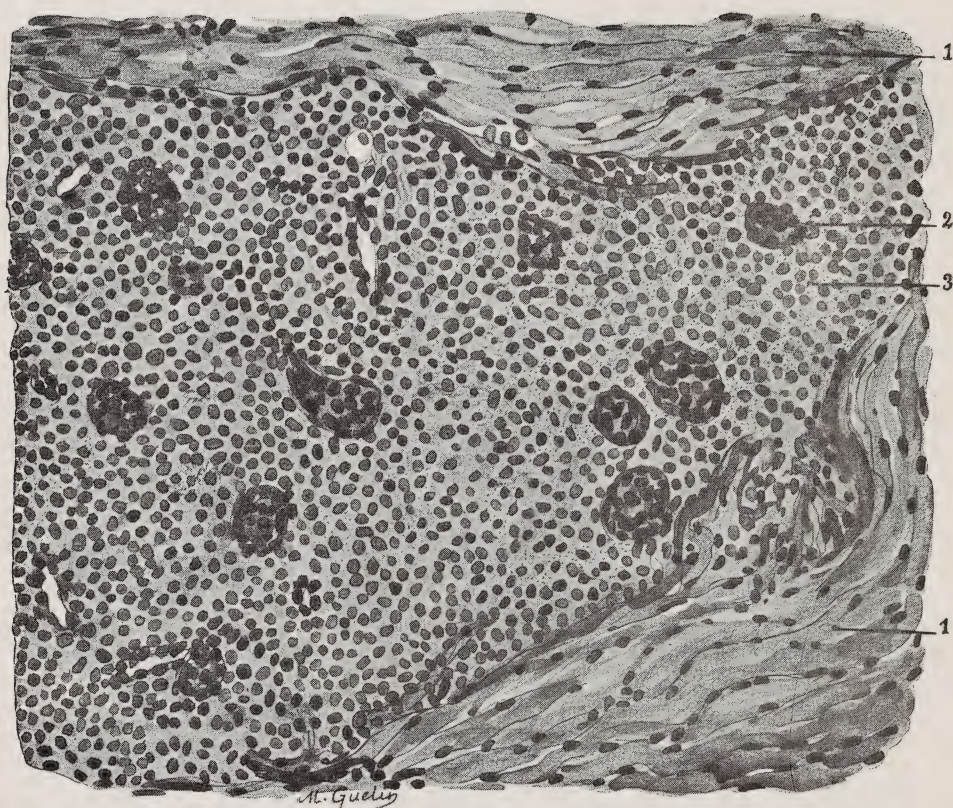


Fig. 9. — *Portion d'un follicule de la coque fibreuse.*

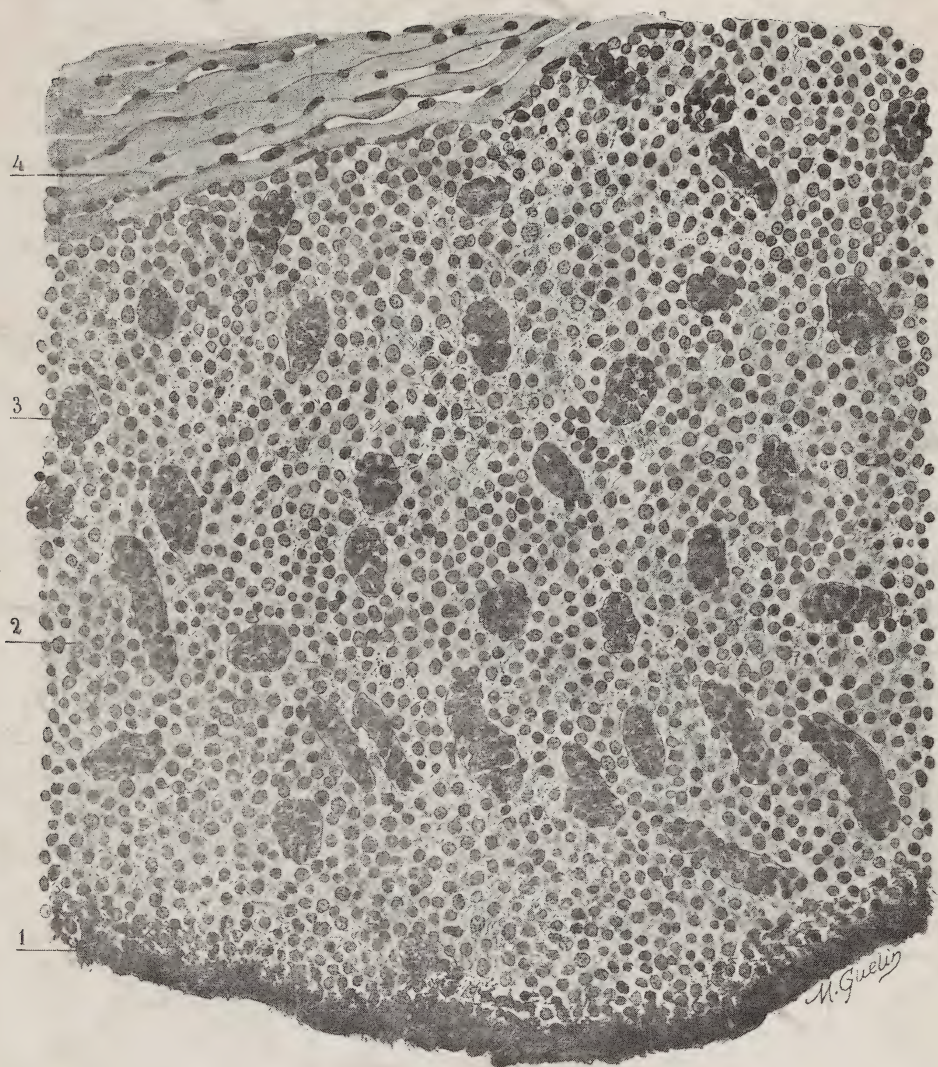


Fig. 10. — Portion du greffon d'un fragment de testicule de bétier
transplanté sur le chien.

Bulletins de la Société Philomathique

1 ^{re} série : 1789-1805	3 volumes in-4°
2 ^e série : 1807-1813	3 volumes in-4°
3 ^e série : 1814-1826	13 fascicules in-4°
4 ^e série : 1832-1833	2 volumes in-4°
5 ^e série : 1836-1863	28 fascicules in-4°
6 ^e série : 1864-1876	13 fascicules in-8°
7 ^e série : 1877-1878	11 volumes in-8°

Mémoires originaux publiés par la Société Philomathique

A L'OCCASION DU

CENTENAIRE DE SA FONDATION

1788-1888

Le recueil des mémoires originaux publiés par la Société Philomathique à l'occasion du centenaire de sa fondation (1788-1888) forme un volume in-4° de 437 pages accompagné de nombreuses figures dans le texte et de 24 planches. Les travaux qu'il contient sont dus, *pour les sciences physiques et mathématiques*, à : MM. Désiré André ; E. Becquerel, de l'Institut ; Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Institut ; Bouty, de l'Institut ; Bourgeois ; Descloizeaux, de l'Institut ; Fourret ; Gernez ; Hardy ; Haton de la Goupillière, de l'Institut ; Laisant ; Laussedat ; Léauté, de l'Institut ; Mannheim ; Moutier ; Peligot, de l'Institut ; Pellat ; — *pour les sciences naturelles*, à MM. Alix ; Bureau ; Bouvier, de l'Institut ; Chatin, de l'Institut ; Drake del Castillo ; Duchartre, de l'Institut ; H. Filhol, de l'Institut ; Franchet ; Grandidier, de l'Institut ; Henneguy, de l'Institut ; Milne-Edwards, de l'Institut ; Mocquard ; Poirier ; A. de Quatrefages, de l'Institut ; G. Rosé ; L. Vaillant.

En vente :

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ A LA SORBONNE

I, RUE VICTOR-COUSIN, I

PARIS (V^e)

Q
46
S6784
NH

506.44
S675

Bulletin

de la

Société Philomathique

de Paris

FONDÉE EN 1788

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 25 MARS 1879

*Cette publication est honorée d'une Souscription
du Ministère de l'Instruction publique*

SÉRIE X. — TOME XIII

2^e FASCICULE

Année 1924

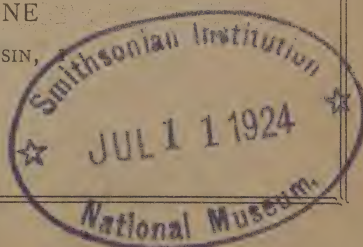
PARIS (V^e)

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS

A LA SORBONNE

1, RUE VICTOR-COUSIN,

1924



506.44

Bulletin
de la
Société Philomathique
de Paris

FONDEE EN 1788

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 25 MARS 1879

*Cette publication est honorée d'une Souscription
du Ministère de l'Instruction publique*

SÉRIE X. — TOME XIII

2^e FASCICULE

Année 1924

PARIS (V^e)

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE

I, RUE VICTOR-COUSIN, 1

1924

Q
46
50754
10x30K
t 13, p. 100
10x30K
50754

SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE

DE PARIS

Comptes de l'Exercice 1923 ⁽¹⁾

Rapport de M. NOË, Trésorier, sur la situation financière.

RECETTES

Cotisations.	{ Courantes (depuis 1922-1923). 680 » }	1.600 »
	{ Arriérées (— 1919-1920). 920 » }	
Vente du Bulletin.....		1 50
Subvention ministérielle.....		700 »
Revenus de	{ Rente 5 0/0..... 60 » }	
titres (en	{ Rente 3 0/0..... 25 » }	
dépôt au	{ 14 obligations anc. P. O. 3 0/0. 163 80 }	287 70
Crédit	{ 3 — P. L.-M. 2 1/2 0/0. 29 43 }	
Foncier).	{ Intérêts du compte-courant.... 9 47 }	
Total des recettes.....		2.589 20
Solde disponible au 1 ^{er} janvier 1923		1.764 18
		<u>4.353 38</u>

(1) Séance du 14 janvier 1924.

DÉPENSES

Cotisations à la Fédération des sociétés scientifiques	100 »
Impression. { Statuts et règlements..... 290 »	1.287 40
{ Bulletin (2 fascicules)..... 985 40	
{ Invitations à conférences..... 12 «	
Secrétariat général..... 282 45	382 65
Frais { Trésorier 45 »	
{ Agent comptable..... 45 70	
{ Crédit Foncier..... 8 50	
Traitement de M. Fortier, agent comptable	200 »
Etrennes et rétributions aux employés de la Sorbonne ...	60 »
Total des dépenses	2.030 05
Solde créditeur de l'exercice 1923	2.323 33
	<u>4.353 38</u>

Approuvé les comptes ci-dessus.

Les Membres de la Commission des finances,

NICOLARDOT, MATIGNON, BOUVIER.

L'ATLANTIDE ⁽¹⁾

PAR M. Louis GERMAIN

Assistant au Museum.

Comme le miroir d'argent reflétait d'Aphrodité le fin et délicieux visage, les trésors harmonieux de son corps splendide, l'Océan mirait la voûte constellée d'une admirable nuit tropicale. L'élégante trirème semblait glisser sous l'impulsion puissante et cadencée des rameurs. Nulle brise sur l'immensité liquide. Seuls brillaient quelques êtres lumineux telles les multicolores lanternes vénitiennes dans le parc en fête. A l'arrière du vaisseau, un Carthaginois rêvait... Il avait, depuis de longues semaines, quitté sa patrie et, laissant loin en arrière les colonnes d'Hercule, il naviguait à l'aventure sur la mer Ténébreuse. Il songeait aux merveilleuses histoires de Platon, connues de tous à Carthage; à l'ultime catastrophe engloutissant tout un monde, dont l'horreur hantait les esprits et répandait une crainte superstitieuse. Indifférent à l'exquise beauté de l'heure, il pensait à des îles, fertiles et riches, échappées au désastre et, le cœur plein d'espoir, il allait à la recherche de l'Atlantide perdue.

A l'arrière du vaisseau, le Carthaginois rêvait... Faisons comme lui et, si téméraire que soit l'entreprise, chevauchons la Chimère et partons à la découverte du continent mystérieux.

I

De tous les continents disparus, l'Atlantide est le plus célèbre et celui dont l'homme a le mieux conservé la tradition. Tant d'auteurs anciens en ont parlé, en termes plus ou moins précis, que l'on peut dire que toute l'antiquité retentit de son souvenir.

Je vous entretiendrai tout à l'heure des récits de Platon, les plus complets qui nous soient restés. Mais, six siècles avant lui, Homère

(1) Conférence faite à la Sorbonne le mardi 12 février 1924.

y fait allusion dans l'Odyssée ; Euripide, Strabon, Denys d'Halicarnasse, Diodore de Sicile, Pline, pour n'en citer que quelques uns, parlent de l'Atlantide disparue. Et c'est un reflet de la catastrophe que nous apporte Ezechiel quand il s'écrie :

« O contrée superbe, qui par votre grand commerce sur mer avez
« comblé de biens tant de nations différentes, qui par la multitude de
« vos richesses et l'abondance de vos peuples, avez enrichi les rois
« de la terre ;

« La mer maintenant vous a brisée, vos richesses sont au fond des
« eaux et toute cette multitude de peuples qui était au milieu de vous
« est tombée et a péri par votre chute. Vous êtes devenu un sujet
« d'étonnement et de surprise pour tous les habitants des îles, et les
« rois ont changé de visage en considérant cette tempête. »

Et, peut-être, faut-il voir une réminiscence, un vague souvenir d'une autre terre perdue dans le grand continent Cronien (Saturnien) de Plutarque, l'île enchantée ou Briarée veille auprès de Saturne endormi ; dans la Méropide de Théopompe ; et même dans le voyage imaginaire d'Iambulus et dans les 84 livres d'Antoine Diogène intitulés : Des choses que l'on voit au delà de Thulé. Tous ces mythes semblent se rattacher à un même souvenir, ce sont véritablement des légendes géologiques reposant sur quelque fait réel. Bien certainement elles ne se rapportent pas à l'Atlantide, mais à des terres plus septentrionales, peut-être à cette communication continentale que nous savons avoir existé, à l'aurore des temps quaternaires, entre l'Europe et l'Amérique du Nord et dont le Groënland, l'Islande et les Feroë sont les derniers témoins. Ce pont de terre fut-il connu de nos lointains ancêtres de l'âge de pierre ? Est-il cette Hyperborée, séjour des dieux, où les anciens se plaisaient à situer tant de légendes merveilleuses ? Ce n'est pas improbable, mais la question appelle de nouvelles recherches.

Nous revenons à l'Atlantide avec ce passage de Proclus conservé dans son Commentaire du Timée de Platon :

« Les historiens qui parlent de la mer extérieure, disent que, de leur temps, il y avait sept îles, consacrées à Proserpine, trois autres d'une immense étendue, dont la première était consacrée à Pluton, la seconde à Ammon, la troisième (celle de 1.000 stades de longueur) à Neptune. Les habitants de cette dernière île ont conservé de leurs ancêtres la mémoire de l'Atlantide, d'une île extrêmement grande, laquelle exerça, pendant un long espace de temps, la domination sur

toutes les îles de l'Océan Atlantique, et était également consacrée à Neptune. Tout ceci, Marcellus l'a écrit dans ses *Ethiopiennes*. »

Mais la célébrité de l'Atlantide est due à Platon. Il en est question dans deux de ses dialogues : Le *Timée* ou de la Nature et le *Critias* ou de l'Atlantide qui est comme la suite du précédent. Tous deux ont été traduits bien des fois, il me semble cependant indispensable de vous en rappeler les passages essentiels.

Voici d'abord quelques extraits du *Timée*. C'est Critias qui parle. Il rapporte l'histoire qui fut contée à Solon, lors de son voyage en Egypte, par un prêtre de Saïs, dans le Delta :

« Ecoutez, Socrate, un récit très peu vraisemblable, et cependant très vrai, comme Solon, le plus sage des sept Sages, disait autrefois... »

« Un jour, un des plus anciens prêtres (de Saïs) adressa la parole (à Solon) et lui dit : « O Solon, Solon, vous autres Grecs vous êtes des enfants ; il n'y a pas un Grec vieillard... »

« Nos écrits rapportent comment votre République a résisté aux efforts d'une grande puissance qui, sortie de la mer Atlantique, avait injustement envahi toute l'Europe et l'Asie : car alors cette mer était guéable.

« Sur ses bords était une île, vis-à-vis du détroit que, dans votre langue, vous nommez Colonnes d'Hercule.

« Cette île était plus étendue que la Libye et que l'Asie ensemble.

« De là les voyageurs pouvaient passer à d'autres îles, desquelles on pouvait se rendre dans tout le continent situé à l'opposite et sur les bords de la mer qui, proprement, est appelée Pontos.

« Dans cette île, il y avait des rois dont la puissance était très grande et s'étendait sur cette île ainsi que sur beaucoup d'autres îles et parties de continents. Ces rois régnaient en outre sur tous les pays du côté de la Libye jusqu'en Egypte et du côté de l'Europe jusqu'à la Tyrhénie...

« Mais, dans les derniers temps, il arriva des tremblements de terre et des inondations..., et, dans l'espace d'un jour et d'une nuit fatale, l'île Atlantide disparut dans la mer.

« Par cette raison aussi, la mer qui se trouve là, n'est ni navigable ni reconnue par personne, puisqu'il s'y est formé peu à peu un limon, provenant de cette île submergée. » (1).

(1) Platon, *Timée ou de la Nature*. Edition Didot, Paris, 1849, pp. 202-203 ; *Œuvres de Platon*. Traduction Victor Cousin, t. XII. Paris, 1839, pp. 109-113.

Voyons maintenant ce que dit Platon dans son *Critias*. Il y décrit l'Atlantide avec ses plaines fertiles ; ses montagnes couvertes de forêts ; ses mines de cuivre et d'orichalque, ce « métal que l'on ne connaît « plus aujourd'hui que de nom, mais qui était très connu, très abondant, et ce qu'il y avait de plus précieux après l'or », ses côtes rocheuses, car le pays était « très élevé et escarpé du côté de la mer » (1) ; ses villages aux riches habitations ; enfin sa puissante capitale aux temples couverts d'or, d'argent et d'orichalque. Nous pouvons laisser de côté tout ce récit calqué sur la tradition égyptienne, mais nous devons rappeler le début du dialogue où Critias s'adresse, en ces termes, à Timée, à Socrate et à Hermocrate :

« Il faut avant tout nous rappeler qu'il y a neuf mille ans depuis le temps qu'une guerre s'est élevée entre ceux qui demeuraient en deçà des Colonnes d'Hercule et ceux qui vivaient au delà.

« On dit que notre République avait le commandement sur les premiers et qu'elle conduisit toute la guerre.

« Les autres étaient gouvernés par les rois de l'île Atlantide, que nous avons déjà dit avoir été plus étendue que la Libye et que l'Asie, et qui est maintenant un limon impraticable, produit par les tremblements de terre.

« De sorte que ceux qui voudraient la traverser, en venant d'ici pour se rendre dans la mer appelée Pelagos, en seraient empêchés par des obstacles invincibles... » (2).

Tels sont les documents écrits que les anciens nous ont légués. Ils sont parfaitement concordants : une île immense existait autrefois dans la mer au large du détroit de Gibraltar ; elle était habitée par un peuple puissant et de haute civilisation dont les incursions sur les continents voisins furent nombreuses. Puis, une catastrophe épouvantable fit sombrer l'île entière sous les flots de l'Océan.

Ce thème unique se retrouve dans tous les textes. Ils ont cependant reçu de multiples interprétations de la part des auteurs qui, du moyen âge à nos jours, ont essayé d'écrire l'histoire du continent perdu.

(1) Platon, *Critias ou de l'Atlantide*, édition Didot, Paris, 1849, p. 258.

(2) Platon, *Critias ou de l'Atlantide*, éd. Didot, Paris, 1849, p. [251]. Traduction Victor Cousin, Paris, 1839, XII, p. 247.

Quelques uns, comme A. de Humboldt et Th. Martin et, plus récemment, de Mortillet, n'y voient qu'une fable embellie par le génie de Platon. Mais la plupart des chercheurs ont essayé de localiser l'emplacement de l'ancienne Atlantide. Chose curieuse, malgré la précision des textes qui parlent uniquement de l'Océan au delà, en face des colonnes d'Hercule, du détroit de Gibraltar, les auteurs ont situé le continent disparu dans les régions les plus diverses et, souvent, les plus inattendues. Je ne puis songer à vous rapporter toutes les opinions émises à ce sujet ; je me contenterai de vous en signaler quelques-unes.

O. Rudbeck a consacré (1675-1698) quatre énormes in-folio et déployé une prodigieuse érudition à prouver que la Suède est le pays des Atlantes et Upsal la capitale dont parle Platon. Le célèbre Bailly, dont les belles recherches sur l'histoire de l'Astronomie sont bien connues va plus loin encore dans cette voie : il rapproche l'Atlantide du pôle Nord et en fait une sorte d'archipel arctique englobant le Groenland, l'Islande, le Spitzberg et la Nouvelle Zélande.

D'autres chercheurs ont considéré le bassin oriental de la mer Méditerranée comme la patrie des Atlantes. Cette opinion, émise par Jean de Serre (Serranus) en tête de l'argument du Critias dans sa traduction latine des œuvres de Platon publiée à Paris en 1570, trouva d'ardents défenseurs dans le suédois Eurenus (1754), les français Olivier (1726) et G. Baer. Ce dernier, dont l'ouvrage eut deux éditions (1762 et 1835) tenta, sans grand succès d'ailleurs, de faire concorder les récits de Platon avec ceux de la Bible. Et le naturaliste Latreille ne craint pas de placer l'Atlantide sur les plateaux arides de la Perse. La découverte, dans l'île de Crète, il y a une vingtaine d'années, de l'admirable civilisation minoenne a remis en faveur le bassin oriental de la Méditerranée. Un savant américain, E. S. Balch (1917) assimile les Atlantes aux habitants de la Crète primitive ; malheureusement les arguments qu'il apporte ne sont nullement convaincants.

On a vu aussi, dans l'Atlantide, l'Amérique tout entière. Oviedo, l'auteur de l'histoire des Indes occidentales, défend cette idée dès 1525 et elle a été maintes fois reprise depuis par le géographe Ortelius en 1560 ; par G. de Paw dans ses recherches philosophiques sur les Américains (1768) et surtout par Carli dont les Lettres américaines ont eu des éditions nombreuses en Italie, en France et en Angleterre.

Mais l'idée la plus rationnelle, celle que les îles de Madère, des Açores et des Canaries ont fait partie de l'ancienne Atlantide a eu aussi, depuis longtemps, ses partisans. Elle est déjà avancée par Ath. Kircher qui, dans son célèbre et volumineux *Mundus subterraneus* (3^e édi-

tion, 1660), donne une carte grossière du continent disparu. Reprise par Becmann (1763), elle est acceptée par Voltaire, par Buffon, par le géographe E. Mentelle et enfin développée, pour la première fois d'une manière vraiment scientifique, par Bory de Saint-Vincent, dans son *Essai sur les îles Fortunées* (1800).

Pour Bory de Saint-Vincent, qui fut un voyageur et un naturaliste de valeur, les îles Canaries sont les Hespérides des anciens, le pic de Teyde n'est autre chose que le fameux Mont Atlas et les Guanches les descendants dégénérés des Atlantes. En somme, comme vous le verrez, ce sont les conjectures de Bory que la science moderne permet de préciser.

Depuis l'époque où le savant Bory publiait ses travaux, divers auteurs ont émis, sur l'Atlantide, des opinions dont quelques-unes sont, pour le moins, fort étranges.

Les théosophes se sont emparés du problème. Smith Elliot, presque copié par Manzi et suivi par un écrivain de grand talent, Ed. Schuré, a voulu reconstituer le continent à l'aide de données qui échappent à tout contrôle. Il a décrit, avec un grand luxe de détails, la civilisation de l'Atlantide et même le type physique de ses habitants, leurs mœurs et leurs institutions politiques. Laissons de côté ces livres, tout de même trop éloignés de la rigueur scientifique, bien que l'auteur nous avertisse que les faits exposés dans son ouvrage ont été recueillis « pièce à pièce avec un soin méticuleux et suivi, au cours de recherches auxquelles se sont livrés plus d'une personne qualifiée, et cela il y a plusieurs années. Pour favoriser le succès de leur entreprise ces personnes ont obtenu la facilité de prendre connaissance de quelques cartes géographiques et d'autres documents conservés depuis les temps les plus reculés, dans des lieux sûrs loin des races turbulentes, occupées en Europe au développement de la civilisation, dans les brefs instants de repos que leur laissent la guerre et le fanatisme qui, au moyen âge, a si longtemps considéré la science comme sacrilège ». Nous sommes tout prêts à discuter avec ces Messieurs quand ils auront bien voulu publier leurs documents « conservés en lieux sûrs ».

Plus sérieux, mais encore entaché de documents suspects est l'ouvrage de Donnelly, *The Antediluvian World*, publié à New-York en 1882. Cherchant avec raison des arguments à la fois dans les sciences naturelles, dans l'archéologie, la linguistique et l'histoire, l'auteur croit à une très ancienne civilisation, antérieure même à celle des Atlantes et d'où tous les peuples connus auraient reçu leurs enseignements. Il décrit l'Atlantide, ses villes et leurs monuments, énumère les

colonies que cet empire possédait du Mexique à l'Égypte et de l'Irlande à l'Afrique équatoriale. Nous sommes ici en pleine hypothèse, sinon en plein roman.

Dans un mémoire rempli de faits et d'érudition, Berlioux (Les Atlantes, 1883) place l'Atlantide dans l'Afrique occidente-septentrionale, aux pieds de l'Atlas marocain. Peuple guerrier, les Atlantes colonisèrent jusqu'en Amérique où ils se rendaient par une voie maritime qui, passant par les îles Fortunées, aboutit aux rivages du Mexique. Le géologue belge Rutot a récemment adopté cette théorie (1920).

C'est plus au sud encore, au Soudan, que le géographe Froebenius retrouve les traces des Atlantes. Et vous savez tous que c'est au Hoggar, dans ce massif montagneux et verdoyant, dominant, tel un bastion, l'immensité des sables d'or du désert que Pierre Benoît cache les amours d'Antinéa. Et un argentin, Llerena, ne se contente plus de reconstituer le continent perdu, il décrit la nouvelle Atlantide qui, un jour prochain, doit surgir des flots tumultueux de l'Océan (1).

II

Vous venez de voir que les opinions les plus diverses ont été émises à propos de l'Atlantide. La science moderne peut-elle affirmer son existence, fixer son emplacement et dater les époques de ses effondrements? C'est ce que je voudrais vous montrer rapidement en me basant sur les données des sciences naturelles, laissant délibérément de côté à peu près tout ce qui regarde l'histoire et l'archéologie.

Mais, avant de vous exposer les arguments empruntés à la zoologie, à la botanique et à la géologie, il est nécessaire de vous donner un aperçu très sommaire de la région Atlantique où nous situons le continent de Platon.

Une carte bathymétrique de l'Océan Atlantique fait ressortir l'existence, au milieu de cet Océan, d'un long plateau central sensiblement dirigé Nord-Sud. De chaque côté de cette crête s'étendent, presque symétriquement, deux immenses vallées : l'une, plus profonde, le long

(1) En 1921 un allemand, le Dr G. Lomer, a repris cette idée dans un livre bizarre, *les Catastrophes mondiales de l'avenir* (Kommende Weltkatastrophen) parmi lesquelles n'est pas oublié le réaffleurement de l'Atlantide à la suite de cataclysmes volcaniques.

de la côte américaine ; l'autre, moins régulière et plus étroite, le long des rivages de l'Europe et de l'Afrique.

Cette crête médiane de hauts fonds est fort irrégulière ; elle présente des sommets qui approchent de la surface et c'est sur elle que s'élève l'archipel des Açores. Entre cet axe océanique et la côte du Vieux Monde, la fosse est parsemée d'archipels : ce sont les îles Madère, les Canaries, les îles du Cap-Vert dont l'ensemble est souvent désigné sous le nom d'îles Atlantiques.

Le plus septentrional de ces archipels, celui des Açores est aussi le plus éloigné des côtes et il se trouve à 1380 kilomètres du Portugal, à 1300 kilomètres du Maroc. L'archipel se divise en trois groupes : celui de l'Est, comprenant San Miguel, Santa-Maria et les écueils des Formigas ; celui du Centre, constitué par cinq îles (Terceira, Graciosa, San Jorge, Pico et Fayal) ; enfin celui de l'Ouest, formé de Flores et de Corvo. Toutes ces îles sont montagneuses, dominées par des cratères et limitées, du côté de l'Océan, par des falaises abruptes.

L'archipel de Madère est situé à environ 850 kilomètres au Sud-Est des Açores. Madère est, de beaucoup, l'île la plus importante. Elle est fort montagneuse, une haute chaîne la parcourant de l'Est à l'Ouest avec, comme sommet culminant, le Pic Ruivo qui atteint 1847 mètres. Séparée de l'Europe par le haut fond de Gettysburg, où la sonde n'atteint, en plusieurs endroits, que 62 mètres, Madère se prolonge vers l'Est par quelques écueils et par trois îles étroites qui se suivent « comme des lames de sabres placées bout à bout : ce sont les Desertas ». A 50 kilomètres au Nord-Est se trouve la petite île de Porto Santo séparée de Madère par des fonds dépassant 2.000 mètres.

Les îles Canaries sont beaucoup plus rapprochées des côtes puisqu'elles sont seulement à 107 kilomètres du continent africain. L'archipel comprend deux groupes d'îles bien distincts. L'un, formé par Lanzarote, Fuerteventura et les îlots voisins est orienté parallèlement à la côte africaine ; son relief est relativement faible puisque les sommets les plus élevés varient entre 684 et 860 mètres d'altitude. L'autre, comprenant cinq grandes îles (Gran Canaria, Tenerife, Gomera, Hierro et Palma) est disposé suivant un axe normal au rivage continental. Ici le relief est très accentué et ce sont ces îles qui offrent, de tous les archipels Atlantiques, les sommets les plus élevés. C'est ainsi que le Pozo de la Nieve (Gran Canaria) a 1898 mètres, que le Pico de la Cruz (Palma) atteint 2.356 mètres et que le Pico de Teyde (Tenerife) s'élève jusqu'à 3.715 mètres.

Enfin, encore plus au sud, un dernier archipel, celui du Cap Vert,

est constitué par un assez grand nombre d'îles de petites dimensions s'étendant, à environ 700 kilomètres de la côte d'Afrique, sur une vaste courbe de 500 kilomètres environ de développement. Ces îles se divisent en deux groupes : celui du Nord, ou îles du Vent (Barlovento) et celui du Sud, ou îles sous le vent (Sotavento).

Les îles atlantiques ont, en commun, bien des caractères. Toutes sont volcaniques et presque entièrement constituées par des tufs, des trachytes, des basaltes. Leur activité a été considérable, même à une époque historique voisine de la nôtre, et c'est aux îles du Cap Vert que ces manifestations éruptives ont été les moins violentes. Ces îles ont un relief heurté : elles sont parcourues de chaînes montagneuses d'une grande élévation coupées de profondes et splendides vallées et terminées, du côté de la mer par d'immenses falaises abruptes ou par des promontoires se prolongeant dans l'Océan en chaînes d'écueils sans cesse battus par les vagues.

Séjour enchanteur que ces îles que les anciens nommaient Fortunées ; que ces îles semées, telles des gemmes précieuses, sur l'Océan d'émeraude. Leur climat est idéal : sans variations ou presque aux Açores et à Madère, plus chaud déjà aux Canaries, subtropical aux îles du Cap vert. Aussi la flore y revêt-elle un aspect somptueux : fleurs aux couleurs harmonieuses ou éclatantes, arbres aux formes étranges, fougères arborescentes aux délicieuses et fines frondaisons se mêlent, se marient en des parcs naturels escaladant les pentes montagneuses. Et que dire de ses champs d'hortensias bleus, de bruyères pourprées, d'échiums aux gigantesques floraisons ; de ses vergers de citronniers et d'orangers, où mûrissent les pommes d'or des Hespérides !

*
*
*

Trois faits considérables dominent toute l'histoire zoologique des archipels atlantiques : l'extrême pauvreté de leur faune potamique ; le caractère continental et homogène de leur faune terrestre ; les rapports de cette faune avec l'Europe méridionale et l'Afrique septentrionale mais non avec l'Afrique tropicale.

Sur toutes les îles, la faune d'eau douce est particulièrement mal représentée. De plus, tous les animaux potamiques sauf l'anguille dont je vous parlerai tout à l'heure, sont d'origine récente, ayant été introduits soit par l'homme, intentionnellement ou non, soit par les procédés ordinaires de dissémination passive : vent, oiseaux, etc... Il en

résulte que les rivières et les ruisseaux sont uniquement habités par des espèces du Nord de l'Afrique ou de l'Europe. Et, c'est parce qu'ils ont étudié seulement, séparément, cette faune d'eau douce que de Guerne et Th. Barrois, dans des travaux d'ailleurs intéressants et sérieux, ont considéré les Açores « comme ayant toujours été isolés au sein de l'Océan. »

La faune terrestre, en faisant abstraction des espèces introduites faciles à reconnaître, est au contraire, parfaitement autochtone. Elle est homogène, en ce sens qu'elle offre les mêmes caractères généraux sur toutes les îles et, de plus, elle est nettement continentale. Contrairement à ce qui a été bien des fois écrit, ces îles abritent ou des espèces analogues ou des espèces très voisines. Le grand nombre des espèces endémiques qui ont été signalées tient sans doute, comme chez les mollusques, à l'importance souvent trop grande que les naturalistes descripteurs attachent à des caractères secondaires. Ils arrivent ainsi à multiplier abusivement les espèces et à masquer, à voiler les rapports réels des faunes qu'ils étudient. Je ne veux pas dire, bien entendu, qu'il n'existe pas, sur quelques îles des archipels des Açores, de Madère ou des Canaries, des formes particulières à ces îles ; mais elles ne sont pas aussi nombreuses qu'on pourrait le croire et toutes proviennent d'un fond commun. Elles se sont différenciées lorsque les archipels d'abord, les îles ensuite ont été isolés.

Un autre fait considérable, c'est que la faune des îles Atlantiques n'a aucun rapport, dans aucun groupe, avec celle de l'Afrique tropicale, malgré la proximité des îles du Cap Vert. (1) Plus au sud, au contraire, les îles du Golfe de Guinée (Fernando-Pô, Ile du Prince, Annobon, San Thomé) et l'île de Saint Hélène qui, autrefois, ont été englobées dans le continent Africano-Brésilien, ont une faune africaine équatoriale. Cette constatation, extrêmement importante, montre que les deux régions ont une origine totalement différente. Or, les îles Açores, Madère, les îles Canaries et celles du Cap Vert, si elles donnent asile à quelques animaux habitant également les Antilles ou l'Amérique Centrale, ont surtout des relations étroites avec la faune de l'Europe méridionale et de l'Afrique du Nord ; c'est-à-dire avec la région circumméditerranéenne. Ces rapports sont peut-être plus marqués encore avec la faune de l'Europe au début de l'époque Miocène ; si bien que l'on peut

(1) Les espèces africaines tropicales signalées aux îles du Cap Vert, sont toutes d'introduction récente.

dire que les archipels atlantiques ont une faune qui est le prolongement, la survivance de celle du Miocène européen.

Pour vous montrer comment on est arrivé à cette importante conclusion, pour vous préciser ces analogies, il me faudrait, pour tous les groupes d'animaux, vous citer de longues listes comparatives d'espèces. J'avoue que je ne m'en sens pas le courage. Je me contenterai de vous donner, avec des indications générales, quelques exemples particulièrement probants.

Les Oligochètes, les Myriapodes, les Arachnides sont presque tous circumméditerranéens et il en est de même pour l'immense classe des Insectes. Parmi ces derniers, 70 0/0 des Lépidoptères sont méditerranéens et 20 0/0 se retrouvent en Amérique. Même en tenant compte du déplacement, relativement facile de ces animaux, il convient de remarquer que certains papillons des îles Canaries, comme le *Setomorpha discipunctella* appartiennent à des genres exclusivement représentés en Afrique et en Amérique.

Parmi les Hémiptères des espèces spéciales aux îles Canaries ont leurs plus proches parents en Algérie et au Guatemala. Le genre *Velia* est confiné à la Méditerranée occidentale, à l'île de Madère et à la partie septentrionale de l'Amérique du Sud.

Un petit Hyménoptère du groupe des Apides, l'*Adrena bipartita* est également répandu aux îles Canaries, dans le sud de l'Europe et dans l'Afrique septentrionale. Or, comme l'a justement fait remarquer J. Vachal, cet animal nichant en terre n'a pu être introduit accidentellement et il faut admettre qu'il est autochtone aux îles Canaries.

Plus suggestive encore est l'étude des Forficules. Toutes les espèces connues du genre *Chelidura* sont des formes montagneuses propres à l'Amérique méridionale; or, les deux seuls *Chelidura* habitant les régions de faible altitude vivent l'une à Madère, l'autre aux environs de Mexico.

La faune des Coléoptères offre, dans les archipels atlantiques, une grande unité. Il y a prédominance très marquée des espèces circumméditerranéennes, aussi bien de l'Europe que du Nord de l'Afrique mêlées à des types américains assez nombreux. On a cru longtemps que les *Carabus* en étaient absents et Wallace s'était basé sur ce fait négatif pour conclure que ces îles n'avaient jamais été rattachées à un continent. Les récentes découvertes ont montré qu'il n'en était pas ainsi : on connaît déjà 7 ou 8 espèces de *Carabus* au Maroc et 3 aux îles Canaries, mais ces animaux semblent devenir de plus en plus rares à mesure que l'on se dirige vers le Sud-Ouest.

Parmi les Crustacés, les Isopodes terrestres sont d'un intérêt particulier car ils vivent, pour la plupart, enterrés une grande partie de leur existence; ils peuvent ainsi fournir des renseignements sur la distribution primitive des espèces. Or les Isopodes des îles Atlantiques sont presque identiques à ceux de l'Europe méridionale et du Nord de l'Afrique et des espèces très caractéristiques de la région circum méditerranéenne, comme le *Ligia italica*, vivent à Madère, aux Açores et aux Canaries. Le genre *Platyarthrus*, habitant les souterrains creusés par les Fourmis est représenté par trois espèces dont le Nord de l'Afrique et l'Ouest américain, parmi lesquelles une se retrouve aux Canaries et par une seule autre espèce (*Platyarthrus Simoni*) découverte au Venezuela.

Mais les Mollusques terrestres fournissent des arguments de premier ordre, car ils permettent des comparaisons avec les formes fossiles.

Deux groupes peuvent être distingués dans la faune malacologique des îles Atlantiques : l'un formé par les genres et les espèces caractéristiques, ceux qu'on ne trouve que là; l'autre constitué par les genres et les espèces qui habitent également d'autres régions du globe.

Dans le premier groupe, sont d'abord des Helicéens, comme les *Leptaxis* et les *Hemicycla*. Les *Leptaxis* sont représentés par une riche suite d'espèces répandues sur les archipels de Madère, des Açores et du Cap-Vert, avec un maximum de développement à Madère. On les rencontre soit à l'état fossile, soit à la fois vivants et fossiles, soit seulement vivants. Or, ces animaux sont les descendants des *Dentellocarolus*, des *Pseudoleptaxis*, des *Fridolina* qui, à l'Eocène et au début du Miocène peuplaient l'Europe. Aux îles Canaries, ces survivants de l'époque tertiaire sont des *Hemicycla*, formes plus évoluées, d'origine sans doute plus récente — ils rappellent beaucoup les *Archelix* — dont on a fait, d'ailleurs, un nombre invraisemblable d'espèces. Même constatation pour les *Clausilidés*, dont on connaît quatre espèces à Madère. Elles sont très singulières et n'ont aucun rapport avec celles de l'Europe à l'époque actuelle. Elles appartiennent au genre *Nenia* (sous-genre *Boettgeria*) qui vivait abondamment en Europe à l'Oligocène et au Miocène. De plus, la répartition moderne des *Nenia* est tout-à-fait curieuse : elle est limitée à l'Amérique centrale, une partie de l'Amérique du Sud, les Antilles, l'île de Madère, avec quelques rares représentants dans les Pyrénées-Orientales, aussi bien sur le versant français que sur le versant espagnol. Ainsi, voici encore des Mollusques tertiaires à peu près inconnus aujourd'hui en Europe,

conservés à l'île de Madère. Il en est de même pour un des genres les plus caractéristiques, le genre *Craspedopoma*, petit Operculé terrestre de la famille des Cyclophoridés, absolument spécial aux îles atlantiques. Il apparaît dans l'Eocène du bassin de Paris, se retrouve dans les dépôts Oligocènes de l'île de Wight et disparaît à la fin du Miocène.

Le second groupe d'espèces comprend celles qui vivent aussi en dehors des archipels. Ce sont tous des Mollusques communs avec la région méditerranéenne ou qui en sont seulement des formes représentatives. Quelques-uns ont une répartition remarquable, parallèle à celle des *Nenia*. Tels sont ceux de la famille des Oleacinidés comprenant des genres habitant uniquement (1) l'Amérique centrale, les Antilles, les archipels atlantiques et le bassin méditerranéen mais qui, à l'époque Miocène, étaient représentés en Europe par des formes de grande taille (2). De plus, la faune des îles Canaries a une allure plus récente et plus méditerranéenne que celles des autres archipels ; elle renferme des genres comme les *Parmacella*, *Lecochroa*, *Jacosta*, *Rumina*, etc., uniquement circumméditerranéens et ses affinités avec le Maroc sont très étroites.

En résumé, la faune malacologique des archipels atlantiques est, en ce qui concerne les genres caractéristiques actuellement localisés sur ces îles, une survivance de la faune tertiaire, particulièrement du Miocène inférieur, de l'Europe occidente-méridionale. Les autres éléments de cette faune sont des espèces circumméditerranéennes ou des formes qui en sont très voisines, dont certaines ont une distribution géographique exclusivement limitée, actuellement, à l'Amérique centrale, aux Antilles, aux îles atlantiques et au bassin méditerranéen. Enfin la faune des îles Canaries est plus récente et beaucoup plus voisine de celle de l'Afrique septentrionale que ne l'est la faune des autres archipels.

Et ces constatations sont très importantes, car elles nous montrent déjà que le groupe des îles Canaries a été séparé des îles Açores, de

(1) Exception faite, bien entendu, de quelques espèces récemment introduites, par l'homme, en divers points du globe.

(2) Alors que les Oléacinidés sont représentés, en Amérique, par des formes de grande taille comme celles de l'Europe au Miocène, ils ne montrent plus, dans le bassin méditerranéen, aux îles Açores, à Madère et aux îles Canaries que des espèces de petite taille.

Madère et des îles du Cap-Vert bien avant son isolement du continent africain.

La faune marine montre des faits analogues. Il existe comme l'a montré Ortmann, des Crustacés littoraux : *Remipes cubensis*, *Calappa marmorata*, *Callinectes diacanthus*, etc., qui vivent à la fois sur les rivages américains et sur ceux de l'Afrique occidentale. On connaît au moins quinze espèces de Mollusques communs aux plateaux continentaux des Antilles et du Sénégal et, sur les six espèces de Madréporaires de San-Thomé (golfe de Guinée), cinq se retrouvent, l'une sur les côtes de Floride et quatre à l'archipel des Bermudes. Cependant il est impossible d'envisager ici le transport, par les courants, des larves de ces animaux, puisque la durée de leur vie est seulement de quelques jours (1).

Mais la mer de Sargasses va nous fournir un argument de premier ordre. Vous savez qu'il existe, au milieu de l'Atlantique, depuis l'Archipel des Açores jusqu'à celui des Antilles, une vaste étendue couverte d'Algues flottantes ; c'est la mer des Sargasses qui occupe au moins 60.000 milles carrés. Les Sargasses sont des Algues, voisines des *Fucus*, dont l'appareil végétatif porte d'innombrables vésicules rondes pleines d'air et servant de flotteurs. Ces vésicules ressemblent à des grains de groseille ou de raisin, d'où le nom de raisins des Tropiques, communément donné aux Sargasses. On ne leur connaît pas d'appareil reproducteur et elles se développent uniquement par bourgeonnement naturel.

(1) Dans un très intéressant mémoire sur « L'Etat actuel du problème de l'Atlantide », le géologue espagnol L. Fernandez Navarro se demande, si la dissémination de ces Madréporaires s'est effectuée le long d'une côte, pourquoi « aucun représentant de la faunule ne se soit conservé sur les restes de cette route, en particulier au Cap-Vert et aux Canaries ? J'avoue sincèrement qu'il y a là un phénomène zoogéographique inexplicable avec les données actuelles. » Le savant auteur oublie ici les particularités de la biologie des Coraux constructeurs. Ils se sont établis aux îles Bermudes, cependant situées par 32° de latitude Nord, parce que la mer est réchauffée par le Gulf Stream ; ils ne peuvent vivre ni aux îles Canaries, ni à celles du Cap-Vert, ni même le long de la côte occidentale d'Afrique, parce qu'un courant froid abaisse les eaux au-dessous de 28°, limite au-dessous de laquelle ces animaux ne sauraient se développer. Il n'est donc pas étonnant, dans ces conditions, qu'on ne les retrouve ni aux îles Canaries, ni à celles du Cap-Vert.

L'espèce que l'on rencontre, presque uniquement, est le *Sargassum bacciferum*. Elle forme, à la surface de la mer, des touffes plus ou moins grosses, séparées les unes des autres par des espaces de deux à trois mètres. Dans les régions où la végétation est la plus dense, les Sargasses se touchent et constituent des sortes d'îlots d'une dizaine de mètres carrés entre lesquels l'eau libre est parsemée de paquets d'algues isolés. Cette mer couverte d'Algues fut connue des Phéniciens et elle étonna beaucoup C. Colomb qui, surpris de l'énorme accumulation des *Fucus*, écrivait, le 21 septembre 1492 qu'« on trouva tant d'herbes, dès le point du jour, que la mer en paraissait comme coagulée ». L'ensemble, d'un vert jaunâtre, rappelle l'aspect des lacs couverts de plantes aquatiques et l'on comprend qu'Oviedo ait comparé cette partie de l'Océan à de grandes prairies, praderias de yerbas.

On a cru, pendant bien longtemps, que les Algues de la mer des Sargasses provenaient des côtes des Antilles et de celles du continent américain. Arrachées par gros temps, entraînées par le Gulf Stream, elles se seraient accumulées dans la région des calmes tropicaux. Cette idée fort ancienne — elle est adoptée par Pierre Martyr d'Anghiera dès 1533 — doit être définitivement abandonnée. D'une part, en effet, le *Sargassum bacciferum* est une espèce particulière, ne présentant, d'après les botanistes, aucune forme de passage avec les Sargasses de la côte Américaine ou des Antilles et, d'autre part, les navigateurs savent, depuis longtemps, que les Sargasses arrachées par les tempêtes aux rivages américains ne sont que tout à fait exceptionnellement entraînées par les courants. Il nous faut donc admettre que les Sargasses se sont développées, depuis des temps fort lointains, à l'endroit même où on les trouve aujourd'hui.

Elles abritent une faune bien curieuse. Ce sont des Poissons, comme l'*Antennarius marmoratus*, de la famille des Baudroies littorales, ou encore une sorte d'Hippocampe, le *Phyllopteryx eques*, au corps déchiqueté, garni d'appendices grêles et filiformes mimant les algues et rendant ces animaux très difficiles à distinguer des Sargasses au milieu desquelles ils vivent en abondance. On trouve aussi très fréquemment un Crabe, le *Nautilograpsus minutus*, se déplaçant rapidement à la surface des paquets d'herbes, de petits Mollusques, des Bryozoaires, des Planaires de la même couleur que les Algues et même un Insecte, le seul connu comme habitant au large. C'est un Hémiptère, l'*Halobathes Wullerstorffi*, que l'on aperçoit, courant à la surface de la mer, à la manière des Hydromètres de nos lacs et de nos rivières.

Or, contrairement à ce que l'on aurait pu croire *a priori*, ces ani-

maux ont leurs analogues dans les régions côtières c'est-à-dire que ce sont des espèces littorales. De plus, elles sont spéciales à la mer des Sargasses, n'ayant d'affinités immédiates ni avec celles du littoral américain, ni avec celles des rivages de l'Europe.

Une seule hypothèse permet d'expliquer rationnellement tous ces faits : admettre l'existence, sur l'emplacement de la mer des Sargasses, d'un ancien continent effondré sous les eaux de l'Océan Atlantique. Ce continent c'est l'Atlantide, non pas encore celle de Platon, mais une Atlantide tertiaire dont je vous parlerai plus loin. Les Sargasses flottantes sont les derniers débris de ses ceintures littorales et elles végètent ainsi, depuis un temps immémorial, en se propageant par bouturage naturel. La plupart des animaux côtiers de ce continent ont disparu au moment de l'effondrement ; d'autres, en bien plus petit nombre, ont survécu en s'adaptant aux nouvelles conditions de vie qui leur étaient offertes. Ce sont ces derniers que l'on y rencontre aujourd'hui : ils forment un district littoral isolé au milieu du domaine pélagique.

Quant à l'Anguille, qui habite actuellement dans les îles atlantiques, c'est le seul animal d'eau douce qui ait survécu au cataclysme. Il peuplait le littoral et les estuaires des fleuves des rivages nord-ouest de l'Atlantide, plus particulièrement dans la région des îles Bermudes. Il n'a pas été anéanti parce que c'est un poisson qui se reproduit dans l'Océan et qui, de nos jours, va s'accoupler et pondre sous la mer des Sargasses (1).

La flore des archipels atlantiques nous donne aussi de précieuses indications. La mieux connue est celle des îles Canaries, si bien étudiée par Pitard et Proust. On y connaît 512 genres comprenant plus de 1350 espèces dont les $\frac{2}{5}$ sont méditerranéennes, près d'un tiers ubiquistes et 468 spéciales mais dont les affinités sont avant tout circum-méditerranéennes. Beaucoup de plantes vivant aux îles Canaries disparurent de l'Europe à l'époque tertiaire et d'autres, comme une Fougère, le *Trichomanes radicans*, ont une répartition qui a été précédemment signalée chez nombre d'animaux : elle croit en Irlande,

(1) Je n'insiste pas sur le cas de l'Anguille. On trouvera des détails à ce sujet dans la Conférence faite, à l'Institut Océanographique, par M. le Prof. L. Joubin et publiée dans le Bulletin de la Société Océanographique de France (3^e année, 1923, n^o 12, 13, 14) ainsi que dans L. Germain, L. Joubin et Ed. Le Danois, Une esquisse du passé de l'Atlantide Nord, La Géographie, septembre 1923, pp. 281-293.

dans les Pyrénées, aux îles Açores, à Madère, aux îles Canaries, aux Antilles, aux Guyanes et au Venezuela. D'autre part, la forte proportion des espèces par rapport aux genres indique une flore continentale et la végétation des régions basses, jusque vers 500 mètres d'altitude, offre un cachet nettement africain septentrional grâce à la présence du Dattier, du Dragonnier, des Euphorbes arborescents, etc. Il en est à peu près de même sur les autres archipels mais avec des analogies moins marquées avec le Maroc occidental. Et, dans l'ensemble, on constate que plus de la moitié des espèces des îles atlantiques se retrouvent dans les régions méditerranéennes et que les types endémiques, c'est-à-dire spéciaux aux îles, sont surtout des formes représentatives des espèces ou des genres correspondants de l'Europe méridionale. Mêmes caractéristiques chez les Mousses : d'après Cardot, les $\frac{2}{3}$ des 368 espèces connues sont également répandues dans le Midi de l'Europe et en Algérie. En résumé, la flore des archipels atlantiques est continentale ; ses rapports sont surtout circumméditerranéens ; elle possède des espèces que l'on retrouve en Europe, aux Antilles et dans l'Amérique centrale, et d'autres qui sont une survivance de la flore tertiaire européenne. Ce sont justement des faits de cet ordre qui ont été mis en évidence pour les animaux.

III

Ainsi, l'étude de la flore et surtout celle de la faune des archipels atlantiques nous conduit à cette conclusion qu'il a existé autrefois, entre l'Europe et l'Amérique, sur l'emplacement actuel de la mer des Sargasses, un continent à l'endroit même où Platon situe son Atlantide. Ce *continent tertiaire* était relié d'une part à l'Amérique, d'autre part à l'Europe méridionale et à l'Afrique septentrionale comme l'indiquent les relations fauniques que je viens de vous esquisser. Comment ce pont interocéanique s'est-il morcelé et quelles sont les dates de ses effondrements successifs ? Pour essayer de répondre à ces questions nous allons maintenant faire appel à la géologie.

Vous vous rappelez que l'Océan Atlantique est, en réalité, un immense géosynclinal, c'est-à-dire un anticlinal, la crête centrale, flanquée de deux synclinaux, les grandes fosses qui regardent les côtes. Or, une vaste ligne volcanique jalonne du Nord au Sud cet Océan dans une orientation uniforme. On n'a, malheureusement, que bien peu de renseignements sur la géologie du fond même de l'Atlantique. Cependant,

on sait que dans le banc de Rockhall, à l'ouest des îles Hébrides, il existe des roches à hornblende ; qu'au sud du banc Porcupine, en face de l'Irlande, se rencontrent des gabros et que des basaltes se montrent à l'ouest de l'extrémité méridionale de l'Irlande ; qu'on a recueilli des syénites néphéliniques à 240 kilomètres au sud-ouest de l'Irlande (1). La ligne nord-sud, jalonnée par ces pointements éruptifs, passe très près du littoral ibérique et vient se réunir, au sud du Portugal, à la grande masse de la Sierra de Monchique.

Il semble donc bien que le fond de cette partie de l'Océan est une région volcanique, une région instable, et qu'il y existe une grande zone de fracture qui expliquerait beaucoup de phénomènes tectoniques récents comme la forme des côtes atlantiques de la péninsule ibérique et la présence de grands fonds à leur proximité.

Or, l'Océan Atlantique ne s'est pas creusé, tout entier, à la même époque de son histoire ; sa partie septentrionale est beaucoup plus jeune que sa partie méridionale. Vous savez qu'il a existé, entre l'Afrique et l'Amérique du Sud, un continent Africano-Brésilien qui a servi de pont à de nombreux animaux. C'est l'effondrement de ce continent, au plus tard au Crétacé moyen, qui a creusé l'Océan Atlantique Sud (2).

Quant à l'Océan Atlantique Nord, il est tertiaire, car avant cette période géologique il n'existe aucune trace de communication entre les eaux arctiques et les eaux méditerranéennes. En effet, la faune méditerranéenne était alors une faune chaude, de caractère presque équatorial, et on y voit apparaître des espèces de mer froide, d'origine arctique, une première fois au Miocène, une seconde fois au Pliocène. C'est donc au plus tôt au Miocène que notre Atlantide tertiaire a commencé à se morceler, et ceci correspond parfaitement aux données zoologiques exposées précédemment, car vous vous rappelez que la faune actuelle des archipels atlantiques est justement la survivance de

(1) Ces pointements volcaniques sont indiqués sur la carte des effondrements pliocènes et pleistocènes, p. 7, de notre mémoire, précédemment cité : *Une esquisse du passé de l'Atlantique Nord*, 1923.

(2) G. de Mortillet a nié l'existence de l'Atlantide parce que les Mammifères de l'Amérique du Sud sont différents de ceux de l'Afrique tropicale. Cet anthropologiste a ici confondu le continent Africano-Brésilien effondré au plus tard au Crétacé moyen avec l'Atlantide tertiaire et cette confusion suffit amplement à expliquer son erreur.

celle de l'Europe à l'Oligocène et au début du Miocène. De plus, la faune du Miocène européen rappelle beaucoup celle qui, de nos jours, couvre l'Amérique du Nord et l'on sait que, pendant l'Eocène et l'Oligocène, les Antilles étaient habitées par des Polypiers constructeurs que l'on retrouve dans l'Oligocène de Castel Gomberto (Vicentin). Ces éléments méditerranéens n'ont pu se propager que le long d'une côte chaude ou d'une traînée d'îles rapprochées. Et, comme à cette époque le continent Africano-Brésilien était effondré depuis longtemps, ce n'est pas le long de la côte septentrionale de ce pont que nos Coraux ont pu émigrer, mais bien sur le rivage méridional de l'Atlantide tertiaire. Ainsi tous ces phénomènes sont concordants : ils démontrent l'existence de ce continent tertiaire et la réalité de ses effondrements pendant le Miocène.

Mais ce n'est pas là, bien évidemment, l'Atlantide de Platon et, pour la retrouver, il faut nous diriger vers le Sud, sur les côtes du Maroc et aux îles Canaries.

Que constatons-nous dans ces parages ? Que les Canaries sont une suite des montagnes d'Afrique. Idée fort ancienne puisque l'historien des Canaries, F. Alonso Espinosa l'indique déjà en 1630 et que Buffon la développe dans sa Théorie de la Terre. Elle a été définitivement démontrée par L. Gentil qui a prouvé que la chaîne du Haut Atlas va, en s'abaissant graduellement, s'envoyer sous la mer entre le Cap Rir et la forteresse d'Agadir pour se relever plus loin aux îles Canaries. Ainsi les montagnes de cet archipel sont la suite de l'Atlas et le géologue Ed. Pacheco a, de plus, montré que, dans les diverses îles, les alignements montagneux continuent ceux du Sahara oriental et du Maroc méridional (1).

L'archipel canarien a donc été réuni à l'Afrique septentrionale à une époque récente et il nous reste à fixer le moment de la séparation. Pour tous les géologues et pour les biologistes il est géologiquement très récent. D'après l'étude des fossiles recueillis par Font y Sague,

(1) Rappelons, fait que l'on connaît depuis longtemps, que dans les îles volcaniques de l'Atlantique qui sont envisagées ici, les volcans sont plantés sur un socle commun qui leur sert de soubassement. Les îles du Cap Vert sont en partie constituées par des calcaires représentant les fragments d'une ancienne terre ferme. En 1912, Imm. Friedlander a signalé à Maio, l'une des îles du Cap Vert, des dépôts jurassiques ou infracrétacés avec débris d'Aptychus.

Dollfus, sans préciser davantage, donne cette séparation comme certainement postérieure au Miocène. L'examen des dépôts côtiers fossilifères a d'abord conduit Gentil à la considérer comme datant de la fin du Pliocène et peut-être du Quaternaire. Dans un travail plus récent, le même auteur admet plus volontiers le Quaternaire. Il est cependant des documents qui permettent peut-être d'apporter ici une précision plus grande encore.

R. Chudeau a observé que les rivières, entre le Rio de Ouro et le Cap Blanc, sur la côte de Mauritanie, courent parallèlement au rivage et vont se perdre dans des sebkas littorales. Cette anomalie provient d'un changement récent dans les lignes de rivages. Enfin il existe, le long des côtes de la Mauritanie, notamment aux environs de Port Etienne, des dépôts quaternaires à *Helix*. Ces formations renferment de nombreux spécimens d'une espèce, l'*Helix Gruveli* que l'on retrouve, absolument identiques dans les dépôts quaternaires de l'île de Fuerteventura, l'une des Canaries. Or, ces formations sont certainement quaternaires et appartiennent même, selon toute probabilité, au quaternaire moyen. Elles indiquent, en tous les cas, que la séparation des îles Canaries du continent s'est faite au début de la période géologique actuelle et que l'homme a pu en être témoin. C'est cette dernière masse continentale, dont la dissociation a donné naissance à l'archipel des îles Canaries, qui est l'Atlantide historique, celle dont Platon nous a conté l'histoire. Et si, actuellement du moins, il est impossible de dater exactement son isolement, il est permis d'espérer que ce dernier problème sera facilement résolu. Il suffirait, en effet, d'étudier comparativement les formations quaternaires des îles Canaries les plus voisines du continent, comme Lanzarote et Fuerteventura et les assises analogues qui leur font face sur la côte africaine de Mauritanie, de vérifier leur concordance et de les dater avec soin. Expédition facile, qui peut être rapidement conduite et qui, je l'espère, sera entreprise un jour (1).

(1) Une Atlantide très étendue au travers de l'Océan a cependant encore bien des partisans, même parmi les géologues. Ph. Salmon croit que sa disparition date de l'époque magdelénienne et Ph. Negrès écrit qu'il faut admettre, comme « sensiblement contemporains les trois phénomènes de la disparition de l'Atlantide, de la formation du Gulf Stream, du recul des glaciers ». Et il adopte la date donnée par Platon, 9.000 ans avant son époque, comme celle de l'effondrement de l'Atlantide. Il me paraît bien difficile d'accepter ces idées, tout au moins dans leur généralité.

Ainsi, il est légitime de certifier l'existence du continent de Platon, de dire que l'homme a connu l'Atlantide. Non pas un immense continent s'étendant au travers de tout l'Océan, comme quelques-uns s'obstinent à le penser, mais une plateforme encore très étendue dont les îles Canaries sont actuellement les vestiges.

IV

Mesdames, Messieurs,

Il me reste à essayer de vous esquisser l'histoire du continent disparu.

Il existait, à la fin du Crétacé et au début des temps tertiaires, une vaste masse continentale englobant les archipels actuels des Açores, de Madère, des Canaries, des îles du Cap Vert. Elle se reliait au Vieux Monde par le Portugal et la Mauritanie; sa limite sud était une ligne de rivages qui, partant des environs du Cap Vert gagnait l'Amérique quelque part vers le Vénézuéla. Elle occupait ainsi toute la partie de l'Océan où se trouve aujourd'hui la Mer des Sargasses.

Ce continent, c'est l'Atlantide tertiaire sur laquelle les différences de climats devaient être considérables. Tandis qu'au nord, la partie la plus montagneuse, régnait un climat analogue à celui des régions méditerranéennes de l'Europe actuelle, au sud, le climat était beaucoup plus chaud, plus sec, à peu près désertique. Dès cette époque, le midi de l'Atlantide était rattaché à la zone désertique qui s'étend aujourd'hui de la côte occidentale d'Afrique au cœur de l'Asie.

La faune de l'Atlantide, fort variée, était analogue à celle qui peuplait alors l'Europe méridionale. Mais nous en connaissons seulement ce que les îles témoins nous en ont conservé. De là, sans doute, cette pauvreté en vertébrés invoquée, notamment par Wallace, pour nier toute connexion des îles entre elles et avec le continent. Pour Wallace, les quelques mammifères qui vivent actuellement dans les îles atlantiques ont tous été introduits par l'homme. Cependant, la pauvreté de ces îles en mammifères n'est pas unique, puisque nous l'observons aussi à Cuba qui fit manifestement partie du continent des Antilles. Il est également possible que l'Atlantide ait possédé une faune mammalogique relativement importante qui disparut presque entièrement au moment des effondrements ou des éruptions volcaniques et dont nous n'avons pas encore retrouvé les traces fossiles. D'autre part, les recherches très précises de R. F. Scharff, l'ont conduit à admettre que les

mammifères des Açores sont, en grande partie, indigènes et qu'ils sont venus de l'Europe par une communication terrestre directe.

Cette Atlantide tertiaire s'est effondrée partiellement d'abord du côté de l'Amérique, par la formation d'une large fosse à l'orient de la Floride, des îles Bahamas, et des Antilles actuelles. Dès lors, une communication par mer existait entre les Antilles et les côtes occidentales d'Afrique au sud du Cap Vert. Et c'est ce qui explique la distribution géographique, en apparence paradoxale, des Madréporaires des îles Bermudes et de l'île de San Thomé; l'existence de crustacés et de mollusques littoraux communs aux deux côtes de l'Atlantique. Ces animaux ont essaimé le long du rivage sud de l'Atlantide, comme l'avaient fait les coraux constructeurs de l'Oligocène.

Mais, au Miocène, il y eut certainement de nouveaux effondrements partiels, car c'est de cette époque que datent les premières intrusions des formes arctiques, froides, dans la Mer Méditerranée, jusqu'alors peuplée d'une faune chaude, presque sub-tropicale. Et c'est à la fin, peut-être même au milieu du Miocène, que les Açores et Madère se séparent du continent européen, puisque ce sont les espèces du Miocène inférieur de l'Europe qui survivent encore dans ces îles, à l'exclusion des formes du Miocène supérieur. Mais l'archipel des Canaries constitue alors une masse continentale distincte, isolée par mer des autres archipels et qui, pendant longtemps encore, reste rattachée à l'Afrique septentrionale (1).

Vers le milieu de l'époque Miocène, nous pouvons nous représenter ainsi les débris de l'Atlantide tertiaire: une série d'îles, sans doute assez vastes, s'étendant sur la Mer des Sargasses, englobant les archipels de Madère, des Canaries, du Cap Vert. Toutes ces terres sont, désormais, sans communication avec l'Europe, l'Afrique et l'Amérique. Une autre masse continentale, indépendante, séparée des précédentes par un bras de mer, couvre les îles Canaries actuelles. Elle est largement soudée au continent africain le long des côtes de la Mauritanie, notamment entre le Cap Mogador et le Rio de Ouro.

La dissociation se poursuit; la Mer des Sargasses surnage le continent effondré n'en conservant, comme témoin, qu'une partie de sa

(1) Cette conclusion résulte des très grandes analogies, précédemment signalées, entre la faune des îles Canaries et celle du Maroc occidental.

faune littorale. Les archipels prennent peu à peu l'aspect que nous leur connaissons ; sur chacun d'eux la faune et la flore évoluent dans des directions plus ou moins différentes, et c'est pourquoi nous trouvons maintenant sur chaque archipel et même sur chaque île, des espèces spéciales dites endémiques, distinctes bien qu'ayant la même origine, de celles des îles ou des archipels voisins. C'est là, simplement, un effet bien connu de l'isolement.

Les îles Canaries sont ainsi restées seules en communication avec l'Afrique à une époque géologiquement très récente, certainement quaternaire. C'est ce dernier fragment du vaste continent tertiaire qui est l'Atlantide historique, l'Atlantide de Platon. C'est d'elle seule que l'homme a pu conserver le souvenir si son effondrement est assez récent. Et je crois, après une étude très attentive de la faune de ces îles, après l'examen des dépôts à Helix Graveli de Mauritanie et de Fuerteventura, que cet effondrement est quaternaire moyen, peut-être même néolithique.

L'homme a pu voir les phases ultimes de ce phénomène considérable, accompagné de raz-de-marée et d'éruptions volcaniques grandioses. De ces convulsions catastrophiques, dont il fut le témoin et la victime, il a conservé, très vivante, la tradition orale fixée bien des siècles après par les écrivains de l'antiquité. Et cette Afrique septentrionale où, à l'aurore des civilisations, existait au sud de l'Atlas, une route très suivie d'invasions, d'émigrations humaines, a été le théâtre de ces guerres dont Diodore de Sicile nous entretient d'une manière confuse, guerres qui, peut-être, furent celles soutenues contre les autochtones, par les Atlantes fuyant leur pays englouti.

J'ai voulu vous montrer ce que la science peut dire de l'Atlantide. Elle certifie son existence, indique la place qu'elle occupait sur le globe et délimite vaguement ses contours. Mais elle se montre incapable de fixer, avec précision, la date de ses effondrements et c'est à peine si elle entrevoit que les ultimes convulsions de cette prodigieuse secousse ont été contemporaines des premières humanités.

Mais qu'importe ! Il reste l'épopée, la merveilleuse épopée du divin Platon ; il reste, qu'ici encore, la science confirme la tradition. Car les légendes, les belles légendes, si souvent serties dans une langue somptueuse, sont de l'histoire, comme les mythes mystérieux et poétiques

sont les idées d'une humanité qui s'éveille, les connaissances premières des grands, des éternels problèmes dont, bien vainement encore, nous cherchons la solution.

Et comme le miroir d'argent reflétait d'Aphrodité l'idéale et presque surhumaine beauté, le mouvant miroir de l'Océan recouvre, à jamais, les splendeurs de l'Atlantide perdue.



Bulletins de la Société Philomathique

1 ^{re} série : 1789-1805	3 volumes in-4°
2 ^e série : 1807-1813	3 volumes in-4°
3 ^e série : 1814-1826	13 fascicules in-4°
4 ^e série : 1832-1833	2 volumes in-4°
5 ^e série : 1836-1863	28 fascicules in-4°
6 ^e série : 1864-1876	13 fascicules in-8°
7 ^e série : 1877-1878	11 volumes in-8°

Mémoires originaux publiés par la Société Philomathique

A L'OCCASION DU

CENTENAIRE DE SA FONDATION

1788-1888

Le recueil des mémoires originaux publiés par la Société Philomathique à l'occasion du centenaire de sa fondation (1788-1888) forme un volume in-4° de 437 pages accompagné de nombreuses figures dans le texte et de 24 planches. Les travaux qu'il contient sont dus, *pour les sciences physiques et mathématiques*, à : MM. Désiré André ; E. Becquerel, de l'Institut ; Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Institut ; Bouty, de l'Institut ; Bourgeois ; Descloizeaux, de l'Institut ; Fouret ; Gernez ; Hardy ; Haton de la Goupillière, de l'Institut ; Laisant ; Laussedat ; Léauté, de l'Institut ; Mannheim ; Moutier ; Peligot, de l'Institut ; Pellat ; — *pour les sciences naturelles*, à MM. Alix ; Bureau ; Bouvier, de l'Institut ; Chatin, de l'Institut ; Drake del Castillo ; Duchartre, de l'Institut ; H. Filhol, de l'Institut ; Franchet ; Grandidier, de l'Institut ; Henneguy, de l'Institut ; Milne-Edwards, de l'Institut ; Mocquard ; Poirier ; A. de Quatrefages, de l'Institut ; G. Rose ; L. Vaillant.

En vente :

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ A LA SORBONNE

I, RUE VICTOR-COUSIN, I

PARIS (V^e)

Q
46
S6784
NH

306.44
5675

Bulletin

de la

Société Philomathique

de Paris

FONDÉE EN 1788

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 25 MARS 1879

*Cette publication est honorée d'une Souscription
du Ministère de l'Instruction publique*

SÉRIE X. — TOME XIII

3^e FASCICULE

Année 1924



PARIS (V^e)

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE

I, RUE VICTOR-COUSIN, I

1924

506.44

Bulletin
de la
Société Philomathique
de Paris

FONDÉE EN 1788

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 25 MARS 1879

*Cette publication est honorée d'une Souscription
du Ministère de l'Instruction publique*

SÉRIE X. — TOME XIII

3^e FASCICULE

Année 1924

PARIS (V^e)
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE

1, RUE VICTOR-COUSIN, 1

1924

8
46
36784
100 Ser.
T. 13, fasc. 163
1924
S. 1478

COMMUNICATIONS

La Cosmogonie dualiste et tourbillonnaire répond-elle à la réalité cosmique ?

On sait que Laplace a calculé qu'il y avait plus d'un milliard à parier contre un qu'on ne trouverait pas de planètes ou satellites à révolution rétrograde. Cette prédiction était bien aventureuse puisqu'on connaissait de son temps des comètes à mouvement rétrograde : mais Laplace ne croyait pas que les comètes faisaient partie du système solaire. Il a suffi d'explorer les régions extrêmes de chaque système (satellites de Neptune, d'Uranus, de Saturne et Jupiter) pour trouver des révolutions rétrogrades, ce qui ruinait le calcul de Laplace.

Je me suis posé une question du même genre à propos de ma Cosmogonie dualiste et tourbillonnaire (1), mais dans des conditions bien différentes : en prenant pour base de calcul des probabilités seulement les faits que j'ai prévus par ma théorie et que l'observation ultérieure a confirmés.

Ces faits sont au nombre de 10 dont 4 (lois nouvelles du système solaire) après avoir été prévus ont été vérifiés par moi et dont 6 ont été vérifiés par d'autres astronomes.

J'ai prévu :

1° L'existence d'une loi des durées de rotations directes des planètes et du soleil parce qu'il existe une loi des durées de révolution (3^e loi de Képler) et que la révolution des satellites d'un système ne peut résulter que de la rotation de son astre central. J'ai trouvé en 1903 cette

(1) L'hypothèse générale de la Cosmogonie dualiste est la suivante :
Tout système cosmique (en particulier le système solaire) doit sa naissance au choc d'un noyau en rotation sur une nébuleuse animée d'un mouvement de translation. Suivant que le choc a lieu dans la région polaire en équatoriale du noyau, il produit un système planétaire ou une nébuleuse spirale à deux spires diamétralement opposées.

loi qui permet, en se servant de deux rotations planétaires, de calculer la durée de rotation du soleil ;

2° L'existence d'une loi des distances des planètes et satellites comme conséquence de la pulsation du protosoleil et des noyaux planétaires : car le soleil a une pulsation undécennale et un grand nombre d'étoiles géantes (Céphéides) ont des pulsations rapides (loi trouvée et démontrée en 1905) ;

3° L'existence d'une loi des inclinaisons d'axe comme conséquence de la translation avec évasement des nappes planétaires dans la nébuleuse primitive, mouvement analogue à l'accroissement de diamètre d'un anneau de fumée se déplaçant dans l'air (loi trouvée et démontrée en 1905) ;

4° L'existence d'une loi des masses (grosses planètes et soleil) comme conséquence de la force répulsive de la Nova solaire (loi trouvée et démontrée en 1920) ;

5° En 1905 le fait que le soleil avait traversé la phase de Nova solaire comme un grand nombre d'étoiles alors que les astronomes, à cette époque, croyaient ce fait très improbable. Les statistiques de Novae faites par Bailey en 1922 (Novae au-dessus de la 10^e grandeur photographiées dans les 30 dernières années) montrent que toutes les étoiles ont dû passer par cette phase de Novae ;

6° En 1909 le fait que les spires de spirales sont des trajectoires de matière en mouvement *centrifuge* au lieu d'être en mouvement *centripète* ou d'être des *courbes synchrones non trajectoires de matière* comme le croyaient la plupart des astronomes. Van Maanen, de 1916 à 1922, a vérifié par la comparaison de clichés des grandes spirales le fait que j'avais prévu ;

7° Le fait (prévu en 1905) que les satellites extrêmes d'un système auraient un sens de révolution inverse de celui de leur planète (satellites rétrogrades de Jupiter VIII trouvé en 1908 et IX en 1914) : les astronomes croyaient, comme T. See, que le sens de révolution était dû au hasard ;

8° Le fait prévu en 1911 que Saturne, ainsi que toutes les grosses planètes, aurait une famille de petites planètes comme Jupiter (la première HZ a été trouvée en 1920) ;

9° Le fait prévu en 1905 que l'hélice devait être une trajectoire cosmique parce que c'est la trajectoire d'une molécule dans un tourbillon : or Curtis a photographié, en 1921, deux nébuleuses en hélice (NGC 6543 et 7293) ;

10° Le fait amplement vérifié par les lois de distribution des conti-

nents et des mers que l'architecture profonde de la terre au niveau de son noyau anhydre primitif (vers — 2.000 m. de profondeur) devait être centrée sur son axe et dissymétrique du Sud au Nord en raison du mouvement de translation (dans le sens Nord de cet axe) à travers la nébuleuse.

Nous appliquerons à ces faits le principe bien connu des probabilités composées.

La probabilité d'un événement composé est le produit des probabilités des événements simples dont il exige la réalisation.

On peut considérer notre Univers complexe comme composé de nébuleuses spirales, de soleils, de planètes, etc... où chaque astre peut devoir son origine ou ses particularités à des événements simples qu'on peut dénombrer dans le cas de leur production au hasard. Ainsi il pourrait y avoir ou non dans ce système solaire une des 4 lois énoncées : les spires des spirales pourraient être des trajectoires des 3 genres indiqués plus haut, etc... En appliquant ce calcul aux 10 faits cités, on trouve une probabilité composée égale à :

$$2^4 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 2 \times 2 = 2304.$$

Ainsi il y aurait 2304 chances contre 1 que l'hypothèse dualiste qui a permis de prévoir et de vérifier les 10 faits précités corresponde à la réalité cosmique.

Mais en réalité la probabilité calculée ainsi doit être multipliée par $2^3 = 8$ parce que la loi des distances des 3 systèmes de satellites de Jupiter, Saturne et Uranus pourrait être différente de la loi des distances planétaires, comme la loi des masses des satellites est différente de la loi des masses planétaires. Il y a donc 18.432 chances contre 1 que la cosmogonie dualiste soit l'expression de la réalité.

Or j'ai prévu en nature et en nombres quantité d'autres faits (durées de rotation de planètes et satellites, distances de satellites inconnus, inclinaisons de leurs axes, distance et masse de la planète ultra-néptunienne, etc...).

D'après ce qui précède je puis avoir confiance que le temps se chargera de vérifier ces prédictions comme l'ont été les précédentes.

En présentant mon livre récent (1) à l'Académie des Sciences, son

(1) Origine dualiste des Mondes (Paris, Payot, 1924).

éminent président, M. Bigourdan, a dit que la cosmogonie dualiste était probablement la seule qui ait réussi à prévoir des faits ultérieurement vérifiés par l'observation.

EMILE BELOT,

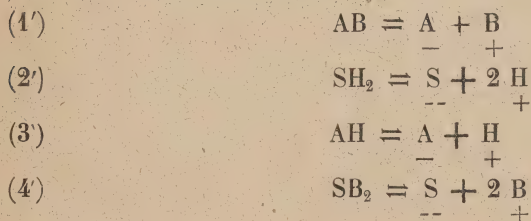
Vice-Président de la Société Astronomique,
Président de la Société Philomathique de France.

Sur la précipitation des cations monovalents

par l'Hydrogène sulfuré

La précipitation des sulfures métalliques par l'Hydrogène sulfuré, est sous la dépendance d'influences variées que l'on déduit aisément de l'application de la loi des masses aux quatre électrolytes présents dans la phase solution obtenue lorsqu'on traite par un courant de ce gaz la dissolution dans l'eau d'un cation quelconque.

Si A B est le sel d'un cation monovalent B soumis à l'action de l'acide sulfhydrique, les quatre électrolytes présents dans la liqueur, sont AB, SH₂, AH et SB₂, qui donnent lieu aux équilibres ioniques :



Parmi les facteurs qui déterminent la précipitation du sulfure, il en est un, relatif à la dilution, sur lequel on ne semble pas avoir appelé l'attention et dont on peut trouver l'influence, par la seule considération des équilibres ioniques (2') et (4') ; car, en leur appliquant la loi d'action de masse, on a :

$$\begin{array}{ll}
 (2) & C_H^2 \cdot C_S = K' C_{SH_2} \\
 & \quad \quad \quad + \quad - - \\
 (4) & C_B^2 \cdot C_S = K^{IV} C_{SB_2} \\
 & \quad \quad \quad + \quad - -
 \end{array}$$

en désignant par K^{II} et K^{IV} les constantes à une température déterminée, relatives aux équilibres ioniques de l'acide sulfhydrique et du sulfure métallique.

Mais à mesure que l'Hydrogène sulfuré se dissout dans l'eau, la con-

centration des ions soufre C_S va en croissant, et l'on voit d'après (4), puisque C_B et K^{IV} sont fixes, que C_{SB2} va lui-même en augmentant; si le sulfure est peu soluble, le produit $K^{IV} C_{SB2}$ ne tarde pas à devenir égal au produit de solubilité K_1 du sulfure, et s'il le dépasse, la solution est sursaturée par rapport au sulfure; mais par suite de l'agitation produite par le passage du courant, celui-ci se dépose, et le dépôt continuera tant que l'on aura :

$$(5'') \quad \frac{C_B^2}{+} \cdot C_S > K_1$$

Mais dans les conditions ordinaires de la précipitation, le gaz sulfhydrique arrivant continûment dans la solution, celle-ci se sature du gaz, et la concentration C_{SH2} prend une valeur constante v d'après la loi de Henry en sorte que (2) s'écrit :

$$(2'') \quad \frac{C_H^2}{+} \cdot C_S = K'' v$$

$K''v$ sera ce que l'on appelle le *produit de volatilité*; il possède une valeur constante, à température et à pression fixées. Si nous remplaçons C_S tiré de cette égalité, dans l'inégalité (4''), nous voyons qu'il y aura dépôt de sulfure tant que l'on aura :

$$\frac{K'' v}{\frac{C_H^2}{+}} > \frac{K_1}{\frac{C_B^2}{+}}$$

Mais par le jeu même de la précipitation, le premier et le second membre de cette inégalité se rapprochent, et tendent vers l'égalité; car $K''v$ et K_1 sont constants, C_H va en croissant, puisque l'acide AH qui peut être l'acide chlorhydrique, nitrique et même acétique, est plus fort, donc beaucoup plus dissocié que l'acide sulfhydrique qui est un acide très faible, et C_H croît du fait de l'arrivée constante de SH_2 dans la solution; au contraire C_B diminue car les ions B se fixent progressivement dans le précipité de sulfure; le premier membre va donc en diminuant, le second en croissant, et lorsqu'il y a égalité :

$$(5) \quad \frac{K'' v}{C_{H^2}^+} = \frac{K_1}{C_B^+}$$

on a atteint la limite de précipitation : c'est du moins l'équation qui correspond à cette limite lorsque l'ion B^+ est monovalent. Il est clair, que lorsque B est divalent, l'équation qui donne la limite est :

$$(5') \quad \frac{K'' v}{C_{H^2}^+} = \frac{K_1}{C_B^+}$$

et lorsque B est trivalent, on obtient la limite par l'égalité :

$$(5'') \quad \frac{K'' v}{C_{H^2}^+} = \sqrt[3]{\frac{K_1}{C_B^{+++}}} = \left(\frac{K_1}{C_B^{+++}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Si nous supposons que l'on accroisse la dilution, par addition d'eau, tout en continuant à faire passer SH^2 et qu'on la rende n fois plus grande, dans le cas de B bivalent, le premier membre de (5') devient n^2 fois plus grand, tandis que le second membre devient seulement n fois plus grand, et la limite de précipitation correspondant à cette nouvelle dilution ne se trouve plus atteinte, le sulfure va continuer à se précipiter, jusqu'à ce que l'on ait réalisé la limite correspondant à cette dilution.

La considération de l'équation (5'') montre que à plus forte raison, un accroissement de dilution recule la limite de précipitation et l'on voit aisément que, en général, cette limite sera d'autant plus éloignée, que la valence de l'élément B sera plus élevée.

Ce sont là des faits bien connus en ce qui concerne les éléments polyvalents.

Mais si l'on examine l'équation (5) relative à un élément B monovalent, on voit que la limite de précipitation est indépendante de la dilution, car si celle-ci devient n fois plus grande, le premier et le second membre de (5) deviennent simultanément n^2 fois plus grands, et l'égalité persiste ; dans ce cas, la limite n'est donc pas troublée par dilution.

C'est là un fait que l'on ne semble pas avoir souligné en ce qui concerne les éléments monovalents et nous nous sommes proposés de

vérifier par l'expérience ces prévisions théoriques déduites de l'application de la loi des masses.

Nous nous sommes alors adressés à l'ion Ag^+ , et à titre de comparaison, nous avons soumis aux mêmes épreuves l'ion Cadmium Cd^{++} servant ainsi de témoin.

Tout d'abord, des solutions nitriques de nitrate d'argent à 10 0/0, 5 0/0, 2 0/0 et 1 0/0, furent traitées par l'Hydrogène sulfuré pendant 20 minutes après avoir vérifié que la précipitation était complète, le filtrat fut amené à une dilution 5 fois plus grande; nous avons constaté que l'Hydrogène sulfuré n'y donne aucune trace de précipitation, conformément aux prévisions théoriques développées précédemment.

D'autre part, à titre de contre-épreuve, des solutions chlorhydriques de chlorure de Cadmium aux mêmes concentrations, furent traitées de la manière suivante :

a) Une solution à 10 0/0 de chlorure de Cadmium fut soumise à l'action de SH_2 jusqu'à précipitation complète, et le filtrat amené à une dilution trois fois plus grande; à cet état, il a donné lieu à un abondant précipité de sulfure par l'hydrogène sulfuré; le 2^o filtrat ne précipitant plus par SH_2 a été amené lui-même à une dilution double et a donné immédiatement un léger louche par passage de SH_2 ;

b) Une solution de chlorure de Cadmium à 5 0/0 traitée comme en a) donne un premier filtrat qui, amené à une dilution trois fois plus grande, a fourni un précipité encore sensible par le passage d'un courant d'Hydrogène sulfuré;

c) Une solution de chlorure de Cadmium à 2 0/0 traitée comme en b) donne un premier filtrat qui, dilué, fournit un louche immédiat par passage de SH_2 ;

d) Enfin, une solution à 1 0/0 seulement de chlorure de Cadmium traitée comme en b) et c) fournit un premier filtrat qui, dilué, ne donne même pas de louche immédiat par passage de SH_2 ; mais ce louche se produit après douze heures.

Cet ensemble d'épreuves, effectuées dans les mêmes conditions, et qui conduisent à des résultats négatifs avec un cation monovalent comme l'argent, et à des résultats positifs, avec le cation bivalent Cadmium, justifient bien les prévisions déduites de l'application de la loi des masses aux électrolytes faibles, acide sulfhydrique et sulfures métalliques.

F. BOURION et M. BOURGEAUD.

Les qualités physiologiques de l'orateur ⁽¹⁾

Tout orateur qui se trouve dans une salle en face d'un auditoire doit avoir un double but : se faire entendre et comprendre de tous les assistants ; ce problème, qui a l'air très simple au premier abord, est, au contraire, excessivement compliqué, et je voudrais aujourd'hui, non pas en faire une étude complète, mais en montrer l'importance et la complexité.

Cicéron a défini l'orateur en quatre mots : *Vir bonus, dicendi peritus* ; *vir bonus*, ce sont les qualités morales ; *dicendi peritus*, ce sont les qualités physiologiques, les seules dont je m'occuperai ici.

L'orateur doit, avant tout, être capable de donner à sa voix une énergie suffisante pour que les vibrations sonores qu'il a émises puissent mettre en branle l'appareil auditif de tous les assistants. Pour que ce résultat soit obtenu, trois facteurs interviennent : l'orateur, la salle, et les auditeurs.

Je vais examiner successivement chacun d'eux :

1. *L'orateur*. — L'énergie de la voix est mesurée par le produit VH , V est le volume d'air qui s'échappe des poumons pendant la phonation, H la pression de l'air dans la trachée. Or, cette pression varie entre 1 et 200^{mm} d'eau ; par exemple, pour la simple phrase, « Bonjour, Monsieur », le manomètre oscille entre 120 et 160^{mm} d'eau.

Ce qui varie énormément, c'est le débit de l'air, qui oscille entre 300 litres à l'heure pendant la conversation et 4.440 litres si le sujet parle dans une grande salle. Les cordes vocales n'ayant pas la même longueur chez l'homme et chez la femme, il faut, pour les faire entrer en vibration, une énergie d'autant plus grande qu'elles sont plus longues ; les femmes se fatigueront donc environ quatre fois moins en parlant que les hommes, et parmi ceux-ci se sont les basses, dont les cordes vocales sont les plus longues, qui se fatigueront le plus. Comme le travail développé dépend surtout du volume d'air expiré, il s'ensuit qu'un orateur doit d'abord apprendre à emmagasiner l'air dans ses

(1) Conférence faite à la Sorbonne le 7 avril 1924 : Résumé.

poumons et à ne pas le laisser échapper inutilement ; il doit donc faire des exercices respiratoires (1).

2. *La salle.* — Certaines ondes sonores arrivent directement à l'oreille des auditeurs, mais beaucoup d'autres ou sont réfléchies régulièrement sur les parois et donnent naissance à des échos, ou sont diffusées sur les parois et produisent le son de résonance ; pour qu'une salle soit bonne au point de vue acoustique il faut qu'il n'y ait pas d'écho et que le son de résonance renforce le son qui l'a produit sans empiéter sur le son suivant.

a) *Echo.* — Pour qu'il n'y ait pas d'écho le son réfléchi doit arriver à l'oreille au plus un dixième de seconde après le son direct ; un calcul très simple montre que la différence entre le chemin parcouru par l'onde directe et le chemin parcouru par l'onde réfléchi doit être au plus de 34 mètres ; il faut donc que le plafond de la salle ne soit pas à une distance trop grande du sol ; c'est ainsi que le plafond vitré du grand amphithéâtre de la Sorbonne n'est qu'à 17 mètres du sol, tandis qu'au Trocadéro il est à 55 mètres, ce qui explique en partie les qualités et les défauts de ces deux salles ;

b) *Son de résonance.* — Un ingénieur américain, M. Sabine, a déterminé, en se servant d'un tuyau donnant ut^3 , la loi qui régit la durée du son de résonance : cette durée est proportionnelle au volume d'air de la salle et inversement proportionnelle au pouvoir absorbant des parois (2) augmenté du pouvoir absorbant des auditeurs.

J'ai repris moi-même ces expériences dans un grand nombre de salles, en me servant comme source sonore des voyelles synthétiques émises pendant trois secondes avec une énergie connue ; j'ai constaté ainsi l'exactitude des résultats de M. Sabine, et j'ai pu déterminer que pour qu'une salle pleine soit bonne il faut que la durée du son de résonance oscille entre une demi-seconde et une seconde ; au-dessous de ces chiffres la salle est sourde, et il faut, pour se faire entendre, augmenter l'énergie de la voix ; au-dessus de ce chiffre la salle est trop sonore et il faut parler lentement, sans forcer la voix, en articu-

(1) *Physiologie de la voix*, couronnée par l'Institut, par M. Marage, Gauthier-Villars, éditeur.

Les membres de la Société philomathique qui désireraient recevoir gratuitement cet ouvrage doivent en faire la demande à M. Marage, 19, rue Cambon, Paris-1^{er}.

(2) *Architectural Acoustics. Part I*, 1900.

lant bien. En commençant son discours un orateur habile peut se rendre compte d'une façon suffisamment précise des qualités de la salle où il se trouve d'après la résonance qu'il constate, et donner à sa voix l'énergie nécessaire pour qu'elle porte, c'est-à-dire mettre en branle les oreilles des assistants (1).

3. *Les auditeurs.* — L'oreille pourrait être comparée à un tambour inscripteur, si elle n'avait pas une sensibilité très variable pour les différents sons ; elle est beaucoup plus sensible aux sons aigus qu'aux sons graves : par exemple, si pour faire entendre à 125 mètres la voyelle *ou* sur la note ut^3 il faut une énergie 0,015 pour faire entendre à la même distance la voyelle *i* sur la note fa^6 , il faudra une énergie 0,000.0003. On a donc raison de dire que certaines voix portent mieux que d'autres, les voix basses sont les moins favorisées, car non seulement les vibrations qu'elles émettent sont moins sensibles aux oreilles des auditeurs, mais encore elles ont besoin d'une énergie beaucoup plus grande pour se produire.

Par exemple, au Trocadéro une basse devra employer une énergie seize fois plus grande qu'un ténor.

Conclusions. — On comprend combien est complexe le problème dont nous n'avons fait qu'indiquer les points les plus importants. On a vu ce qu'un orateur doit faire pour obtenir le maximum de résultat avec le minimum d'efforts.

Les auditeurs, à cause de l'appareil de transmission de leurs oreilles, seront toujours des récepteurs inégalement influençables ; ce sont surtout leurs centres auditifs, c'est-à-dire les points réels d'origine du nerf acoustique, qui réagiront d'une façon très variable : mais ici ce sont les qualités psychologiques de l'orateur qui interviendront avec le maximum d'intensité ; l'art oratoire n'est plus de notre domaine, et nous devons limiter cette étude à la science oratoire ; c'est ce que nous avons essayé de faire ici.

R. MARAGE

(1) Physiologie de la voix, p. 110 et suivantes.

LE SOUFFLAGE DU VERRE

dans

les Laboratoires Scientifiques et Industriels ⁽¹⁾

L'usage des appareils en verre devient de plus en plus nécessaire dans les laboratoires tant industriels que scientifiques. Pour des raisons que nous indiquerons plus loin, il y a beaucoup de cas où le commerce ne saurait les fournir. Il nous paraît donc utile d'insister sur les raisons qui imposent et imposeront de plus en plus aux praticiens de laboratoire les opérations fondamentales du *soufflage du verre*. Comme dans toute espèce d'apprentissage, les premières difficultés sont cause qu'on se rebute ; il est bon de décrire ces difficultés et de donner le moyen de les vaincre.

La verrerie soufflée nécessaire au chimiste.

Universalité des emplois du verre en chimie. — Dès l'origine, les appareils en verre ont été indispensables au chimiste. Cette matière, dure, transparente, apte à recevoir les formes les plus diverses, pratiquement inattaquable à la grande généralité des corps mis en œuvre, se prête admirablement à la réalisation des appareils multiples, que suggère au chimiste son ingéniosité, quand il est dans la nécessité de satisfaire aux multiples opérations, qui sont l'objet de son labeur quotidien. Qu'il s'agisse de combiner, de décomposer, de chauffer, de refroidir, de distiller, de condenser, de soumettre au vide ou à la pression, d'isoler, de purifier, de conserver les corps qu'il traite, le chimiste est obligé d'utiliser des appareils en verre, simples ou compliqués. Le verre est l'élément universel de son outillage.

Du temps des alchimistes. — Aussi voyons-nous les appareils en verre employés par les plus anciens chimistes, voire par les vieux alchimistes.

Souvent même, il y a lieu de s'étonner qu'avec le matériel élémentaire dont on disposait de leur temps, ils aient été capables d'exécuter

(1) Conférence faite à la Sorbonne le 24 novembre 1924. — Extrait de *Chimie et Industrie*.

les appareils étranges dont s'encombrent leurs officines, telles que les représentent les gravures de l'époque. Il faut avouer que nous savons fort peu de chose sur les origines du soufflage du verre, et nulle part, par exemple, on ne trouve trace du premier réfrigérant.

Les ouvrages les plus anciens où il en est fait mention ne le signalent pas comme une invention nouvelle.

Les précurseurs. — Pendant longtemps, on paraît s'être contenté d'instruments très peu variés, c'est-à-dire de ballons, cornues, tubes, en un mot de verrerie ordinaire. Jusque vers la fin du ^{xvii}^e siècle, les chimistes répétaient à peu près les mêmes opérations rudimentaires, où la distillation occupait la première place. C'était le temps où le thermomètre même était inconnu, où la technique d'une opération se bornait à prescrire le chauffage, au *premier degré*, au *deuxième degré*, etc., ce qui voulait dire qu'on devait mettre en œuvre tel ou tel nombre de charbons. C'est ce que décrivait Lémery, dans un passage curieux de son célèbre *Cours de Chimie* :

« Pour faire un feu de premier degré, il faut deux ou trois petits charbons allumés qui soient capables d'entretenir une très petite chaleur. Pour le feu du second degré, il faut trois ou quatre charbons qui donnent une chaleur capable d'échauffer sensiblement le vaisseau, en sorte néanmoins que la main la puisse souffrir quelque temps.

« Pour le feu du troisième degré, il faut une chaleur suffisante pour faire bouillir un pot rempli de cinq ou six pintes d'eau.

« Pour le feu du quatrième degré, il faut se servir du charbon et du bois qui excitent une dernière violence du feu (1). »

Lémery ne connaît pas le chalumeau, il donne pour sceller les ballons de verre un moyen rudimentaire, qui est le suivant :

« Sceller hermétiquement et clore l'embouchure ou le col d'un vaisseau de verre avec des pincettes rougies au feu. Pour ce faire, on échauffe ce col avec des charbons ardents qu'on approche peu à peu, l'on augmente et l'on continue le feu, jusqu'à ce que le verre soit prêt de se mettre en fusion ; on se sert de ce moyen de boucher les vaisseaux, quand on a mis dedans quelque matière facile à être exaltée qu'on veut faire circuler. »

La pauvreté de l'outillage allait de pair avec celle de la technique.

Dans la seconde moitié, du ^{xviii}^e siècle, Baumé donne dans son *Cours de Chimie expérimentale* des conseils sur la manière de couper et percer les ballons :

(1) *Cours de Chimie*, Lémery, p. 68-69 (1690).

« Les vaisseaux, dit-il, sortant de la verrerie, ne sont point appropriés et ne peuvent servir aux opérations. Les ballons ont le col trop long et ne sont point percés, les becs des chapiteaux ne sont point ouverts. Le chimiste est obligé d'arranger ces vaisseaux et de les mettre en état de servir (1). »

Pour couper le verre, il ne parle ni du diamant ni du couteau à verre, il se sert simplement de la pierre à fusil.

Pour percer un trou dans un ballon, il ne parle pas de la pointe d'acier humectée d'essence de térébenthine, ou mieux encore d'essence saturée de camphre, mais il cherche un défaut qui rende la paroi moins résistante, une bulle par exemple, plus facile à attaquer, et il enseigne l'opération pénible, qui consiste à la perforer à l'aide d'un instrument pointu.

Les grands initiateurs. — C'est vers 1780, avec Lavoisier qui donna naissance à la Chimie moderne, que se généralise et se perfectionne l'usage du chalumeau et des appareils en verre façonnés avec l'aide du chalumeau.

Lavoisier construisit de ses mains, ou fit construire sous ses yeux et sur ses indications, un nombre considérable d'appareils nouveaux. En lisant ses œuvres, on reste confondu de l'ingéniosité et de l'habileté dont il fit preuve.

Un peu plus tard, dans son *Traité de Chimie* (2), le célèbre chimiste suédois Berzélius déclarait expressément :

« Il est indispensable que celui qui veut se livrer à des recherches chimiques sache traiter le verre à la lampe, donner aux tubes de verre des formes diverses en les courbant, les souffler en boules, etc. »

Or, rendons-nous compte de ce qu'était le matériel rudimentaire d'alors. Bien que le gaz extrait de la houille ait été trouvé dès 1785, bien que, revenu, comme tant d'autres inventions françaises, d'Allemagne et d'Angleterre, il ait été définitivement introduit dans l'éclairage public à Paris en 1817, il ne fut distribué aux particuliers que beaucoup plus tard. On n'eut pendant toute cette période, dans les laboratoires, que l'antique lampe à huile, simple boîte pleine d'huile ou encore de graisse, garnie d'une mèche et dont la flamme était activée au moyen d'un chalumeau.

Quant au verre nécessaire au souffleur il devait être encore relative-

(1) Baumé, *Cours de Chimie expérimentale*, t. 11, p. 113, 1773.

(2) Berzélius, *Traité de Chimie*, 1833, n° 8, p. 343.

ment rare et difficile à se procurer, car nous trouvons un passage bien significatif dans un petit livre sur *Le soufflage du verre à la lampe*, publié en 1829 par Danger, dédié à Chevreul et probablement écrit à la suggestion de ce dernier.

« Les tubes de verre se vendent 24 sous la livre chez M. Acloque, rue de la Barillerie, n° 22, près le Palais de Justice. On trouve l'alcool et le mercure chez Queneville, rue du Colombier, 23. »

Les chimistes de cette époque avaient donc un grand mérite à travailler le verre dans de telles conditions, car, n'en doutons pas, ils le travaillaient eux-mêmes. A la précision de la description donnée par Berzélius, au détail des tours de main qu'il expose, on sent nettement que l'auteur ne se borne pas à transcrire les travaux d'autrui, mais qu'il parle de ce qu'il a fait lui-même, des appareils qu'il a façonnés de ses mains.

Sans doute Gay-Lussac, contemporain de Berzélius, apportait déjà un perfectionnement notable à l'outillage en substituant à la lampe à huile la lampe à alcool, mais on peut dire que le soufflage du verre ne devait être vraiment révolutionné que par l'introduction du chalumeau à gaz.

Les souffleurs professionnels. — Résultat contradictoire, c'est à ce moment même que le soufflage déserte le laboratoire. Que s'est-il donc passé ? Les appareils-types, correspondant aux opérations d'alors, sont désormais créés. La chimie marche à pas de géant et les besoins en verrerie soufflée deviennent tels qu'ils suscitent l'éclosion d'une véritable corporation de souffleurs de verre. C'est ainsi qu'on trouve installés, dans le quartier de la Sorbonne, un grand nombre de ces artisans qui travaillent isolément dans leur atelier familial.

Certains arrivent à une véritable virtuosité comme les Alvergniat en France, les Geissler en Allemagne, et, de leurs mains habiles, sortent des appareils merveilleux de complication et de délicatesse.

On peut dire que l'art du soufflage du verre a obéi à la loi de la division du travail, et que sa spécialisation constitue un progrès.

La crise actuelle. — Mais la guerre survint ! Et, soudain, en face des besoins croissants, se manifesta une décroissance inquiétante de la production.

Que les besoins se soient accrus, cela n'a rien d'extraordinaire pour ceux qui sont familiarisés avec le travail du laboratoire. Les appareils relativement simples d'autrefois ne suffirent plus. Le matériel s'est renouvelé et évolue constamment. On surprend beaucoup les profanes

quand on leur affirme qu'une cornue, une de ces cornues bien vastes et bien pansues des vieux livres de « Chymie » d'autrefois, ne figure pas plus dans le paysage d'un laboratoire de chimie moderne que le crocodile empaillé ou le bonnet à pointe de l'alchimiste.

Ce qu'on y voit, en revanche, est à la fois plus simple et plus compliqué et s'adapte aux manipulations si diverses auxquelles on peut soumettre les corps solides, liquides ou gazeux.

Pour s'en faire une idée, il suffit d'ouvrir les catalogues, devenus de gros volumes, des fournisseurs de laboratoires, où la multiplicité des modèles est une preuve de l'infinie variété des besoins pour lesquels ils ont été imaginés.

Crise de l'apprentissage. — Or, pour devenir un souffleur de verre rompu à son métier, il faut un très long apprentissage, et le métier de souffleur de verre n'en a pas le monopole. Le gamin qui débute veut, et ses parents veulent pour lui, qu'il gagne dès le début autant que le bon ouvrier souffleur. Dans ces conditions, il ne reste qu'une méthode, désastreuse pour l'avenir ; après quelques jours d'essais, le patron met l'apprenti au travail en série d'une seule sorte d'objets, dont l'exécution est simple et le rendement élevé. Tant pis pour l'ouvrier, tant pis pour le chimiste, tant pis pour l'avenir et pour la bonne renommée de la science française.

Crise de la matière première. — En même temps, comme chacun sait, le prix du tube de verre, dont les laboratoires et les souffleurs font une énorme consommation, est passé de 0 fr. 80, qu'il valait avant la guerre, à 8 et 9 fr. le kg. Si encore ce tube de verre, si coûteux, avait les qualités qu'exige son emploi ! Mais il a un retrait exagéré ; seuls des ouvriers très exercés peuvent exécuter les appareils compliqués ; ils doivent s'entourer des précautions les plus minutieuses, et, trop souvent encore, en dépit de ces soins, l'appareil se brise spontanément au refroidissement. Dans ces conditions, un patron ne peut impunément laisser un apprenti s'exercer aux multiples essais qui coûteraient du temps et du verre, mais seraient cependant indispensables au perfectionnement de son art !

Si donc les souffleurs avaient augmenté le prix de leurs appareils dans la même proportion que leur matière première, il eût été impossible aux chimistes de se procurer le nécessaire. A quoi aurait pu suffire le maigre budget des laboratoires scientifiques ?

De l'ensemble de ces causes naît une situation qui ne peut que s'aggraver et dont les travailleurs de laboratoire souffrent chaque jour

d'avantage, au point de se demander si leurs recherches, condition du progrès, ne seront pas dangereusement entravées au développement de notre industrie.

Mais, pourra-t-on nous objecter, le chimiste ne peut pourtant pas se substituer au souffleur de verre professionnel. Il n'a le temps ni de l'apprentissage, puisqu'il y faut plusieurs années, ni de l'exécution, puisqu'il est chimiste et non souffleur de verre ! Nous sommes d'accord, mais la double objection tombe dès qu'on se rend compte que, d'une part, le domaine où devra s'exercer l'habileté du chimiste, en tant que souffleur, est très limité, et que, d'autre part, l'apprentissage à faire en vue de cet objectif est réellement élémentaire, et très différent de celui du souffleur professionnel.

Première réalisation d'un appareil nouveau. — Quand un chimiste trouve insuffisants les appareils classiques, c'est qu'il est en face d'une opération nouvelle, en vue de laquelle il conçoit un appareil approprié. Plein de cette idée, pressé d'en voir la réalisation, le chimiste qui s'adresse alors à un souffleur professionnel ne se rend pas toujours compte du temps nécessaire à ce dernier et, par conséquent, du prix de revient, des aléas d'exécution, etc. Ne faut-il pas, cependant, que le souffleur étudie le projet dont il est saisi, s'applique à en comprendre l'utilisation, en modifie l'exécution jusqu'à ce que l'appareil réponde aux exigences du chercheur ?

N'arrive-t-il pas que le souffleur, qui n'est pas un chimiste, ne s'assimile l'idée de ce dernier qu'incomplètement et, par suite, exécute un appareil impropre aux fonctions qu'on en attend ?

N'arrive-t-il pas que le chimiste, ignorant par trop le travail du verre, conçoive et demande un travail pratiquement irréalisable ? Tout cela fait que, pour l'ouvrier souffleur de verre, l'exécution d'appareils nouveaux comportant des tâtonnements, des essais multipliés, une habileté un peu exceptionnelle, sans lui éviter une forte proportion d'appareils ratés, lui apparaît comme un genre de travail qui ne paie pas suffisamment et qui doit être laissé en conséquence « aux artistes », qui, c'est un fait connu, sont comme les poètes et *vivent de l'air du temps*.

Le travail du verre est facile. — Mais supposons le chercheur un peu entraîné au travail du verre. La situation est alors tout autre. Le verre se travaille avec la plus grande facilité, se prête aux combinaisons les plus complexes. Quand le chimiste a conçu l'idée d'une opération nouvelle à laquelle se prête rarement ou se prête incomplètement l'outillage existant, il peut, dans les conditions que nous supposons ci-des-

sus, réaliser exactement la forme d'appareil la mieux adaptée à son dessein, la plus capable de produire les résultats qu'il a en vue.

Et comme son idée se précise à mesure qu'il la réalise, comme les corrections se présentent d'elles-mêmes à son esprit à mesure qu'il rencontre les difficultés propres au sujet, la docilité du verre lui fournit le moyen d'adopter rigoureusement l'appareillage à ses besoins. Les essais terminés, le moment de passer à l'application industrielle venu, il n'aura qu'à faire exécuter par l'ingénieur, à une échelle amplifiée, les appareils adaptés à la même fabrication. Oui ! mais à la condition évidemment qu'il ait appris à exécuter les travaux élémentaires : courbure des tubes, soufflage des boules, soudure en bout, soudure latérale, soudure interne, un peu de rodage ; voilà l'essentiel. Si l'appareil ainsi construit est légèrement irrégulier, manque de fini, c'est tout à fait secondaire. Pour arriver à ce résultat faut-il un long apprentissage ? un outillage compliqué ? des aptitudes spéciales ? En aucune façon.

Outillage : le chalumeau. — L'outillage comprend essentiellement l'appareil de chauffage et le verre approprié. Nous devons tout d'abord mettre en garde contre l'emploi du chalumeau dit à incinération que l'on rencontre d'ordinaire dans les laboratoires et avec lequel il est impossible d'obtenir de bons résultats.

Beaucoup d'insuccès sont dus à son emploi et beaucoup de chimistes se sont rebutés à cause de ces insuccès. Le seul appareil utilisable est le chalumeau de souffleur à injecteurs d'air interchangeables, permettant de faire varier les dimensions de la flamme, suivant la surface que l'on doit chauffer.

Outillage : le verre. — La question du verre à utiliser pour le soufflage et les soudures est actuellement beaucoup plus délicate.

Comme nous l'avons signalé ailleurs (1), les tubes de verre que l'on trouve dans le commerce sont défectueux, étant complètement dépourvus de propriétés constantes, se soudant difficilement entre eux, même s'ils sortent de chez le même fabricant, ayant une déplorable tendance à se rompre spontanément même quand on a eu soin de refroidir lentement l'objet soufflé, après le travail. Dans l'espoir que la fabrication française réalisera bientôt sur ce point les perfectionnements indispensables, nous n'insisterons pas davantage sur ce sujet, et nous partirons de cette hypothèse que l'apprenti dispose de tubes de bonne qualité et de composition uniforme, aptes, par conséquent, à se souder ensemble.

(A suivre.)

H. VIGREUX,

Chef d'atelier à la Faculté des sciences de Paris.

Bulletins de la Société Philomathique

1 ^{re} série : 1789-1805	3 volumes in-4°
2 ^e série : 1807-1813	3 volumes in-4°
3 ^e série : 1814-1826	13 fascicules in-4°
4 ^e série : 1832-1833	2 volumes in-4°
5 ^e série : 1836-1863	28 fascicules in-4°
6 ^e série : 1864-1876	13 fascicules in-8°
7 ^e série : 1877-1878	11 volumes in-8°

Mémoires originaux publiés par la Société Philomathique

A L'OCCASION DU

CENTENAIRE DE SA FONDATION

1788-1888

Le recueil des mémoires originaux publiés par la Société Philomathique à l'occasion du centenaire de sa fondation (1788-1888) forme un volume in-4° de 437 pages accompagné de nombreuses figures dans le texte et de 24 planches. Les travaux qu'il contient sont dus, *pour les sciences physiques et mathématiques*, à : MM. Désiré André ; E. Becquerel, de l'Institut ; Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Institut ; Bouty, de l'Institut ; Bourgeois ; Descloizeaux, de l'Institut ; Fouret ; Gernez ; Hardy ; Haton de la Goupillière, de l'Institut ; Laisant ; Laussedat ; Léauté, de l'Institut ; Mannheim ; Moutier ; Peligot, de l'Institut ; Pellat ; — *pour les sciences naturelles*, à MM. Alix ; Bureau ; Bouvier, de l'Institut ; Chatin, de l'Institut ; Drake del Castillo ; Duchartre, de l'Institut ; H. Filhol, de l'Institut ; Franchet ; Grandidier, de l'Institut ; Henneguy, de l'Institut ; Milne-Edwards, de l'Institut ; Mocquard ; Poirier ; A. de Quatrefages, de l'Institut ; G. Rose ; L. Vaillant.

En vente :

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ A LA SORBONNE

I, RUE VICTOR COUSIN, I

PARIS (V^e)

Q
46
S6784
NH

Bulletin
de la
Société Philomathique
de Paris

FONDÉE EN 1788

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 25 MARS 1879

*Cette publication est honorée d'une Souscription
du Ministère de l'Instruction publique*

SÉRIE X. — TOME XIV

1^{er} FASCICULE

Année 1925

PARIS (V^e)
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE

1, RUE VICTOR-COUSIN, 1

1925

506.44

Bulletin
de la
Société Philomathique
de Paris

FONDÉE EN 1788

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 25 MARS 1879

*Cette publication est honorée d'une Souscription
du Ministère de l'Instruction publique*

SÉRIE X. — TOME XIV

1^{er} FASCICULE

Année 1925

PARIS (V^e)
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE
1, RUE VICTOR-COUSIN, 1

1925

ABRÉVIATIONS

A. M.	Assistant au Muséum.
C. C. U. P.	Chargé de Cours à l'Université de Paris.
D. M.	Docteur en Médecine.
D. S.	Docteur ès-Sciences.
E. E. P.	Examineur à l'Ecole Polytechnique.
I. P. C.	Ingénieur des Ponts et Chaussées.
I. G. M.	Inspecteur général des Mines.
I. G. A.	— — de l'Agriculture.
M. A. M.	Membre de l'Académie de Médecine.
M. I.	— de l'Institut.
M. C.	Maître de Conférences.
P. C. F.	Professeur au Collège de France.
P. A. M.	— au Conservatoire des Arts et Métiers.
P. E. M.	— à l'Ecole des Mines.
P. L.	— au Lycée.
P. E. P.	— à l'Ecole Polytechnique.
P. P. C.	— — des Ponts et Chaussées.
P. F. Ph.	— à la Faculté de Pharmacie.
P. F. M.	— — de Médecine.
P. F. S.	— — des Sciences.
P. M.	— au Muséum.
P. H.	— honoraire.
R. E. P.	Répétiteur à l'Ecole Polytechnique.

9
 16
 30784
 1250
 T. N. 11221
 1925
 5011028

PRINCIPAUX MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE 1788 A 1855

10 déc.	AUDIRAC, médecin.		SAINT-HILAIRE.
1788	BRONGNIART, chimiste.	28 mars	Georges CUVIER.
	BROVAL, mathématicien.	1796	LARREY.
	PETIT, médecin.		DAUBENTON.
	RICHE, naturaliste.	1797	DUMÉRIL.
	SYLVESTRE, physicien.		DE LASTEYRIE.
	<i>Membres fondateurs</i>	1797	ALIBERT.
1789	VAUQUELIN.		ADET.
1793		1798	BICHAT.
14 sep.	BERTHOLLET.	1800	CHAPTAL.
	LAVOISIER.		DE CANDOLLE.
	VICQ D'AZYR.	1801	BIOT.
21 sep.	LAMARK.	1803	CUVIER.
	FOURCROY.	1804	THÉNARD.
28 sep.	MONGE.	1805	POISSON.
	PRONY.		GAY-LUSSAC.
3 nov.	LAPLACE.	1806	SAVIGNY.
	D'ARCET.	1807	DUPUYTREN.
	PELLETIER.	1808	AMPÈRE.
13 nov.	LACROIX.	1810	CHEVREUL.
1794	HAÛY.	1812	ARAGÓ.
	BERTHOUD.		DE BLAINVILLE.
1795		1813	DULONG.
13 jan.	Etienne GEOFFROY.	1814	MAGENDIE.
		1818	CAUCHY.
			MILNE-EDWARDS.

		1829	Elie DE BEAUMONT.
1819	FRESNEL.	1830	CORIOLIS.
1823	BECQUEREL.	1835	Alphonse MILNE-ED-
1825	SAVART.		WARDS.
	DUMAS.	1855	Marcellin BERTHELOT.
	DE JUSSIEU.		

De 1835 jusqu'à l'époque actuelle la Société Philomathique a compté parmi ses membres les savants les plus illustres : citer leurs noms, serait rééditer l'Annuaire de l'Académie des Sciences, et, suivant l'expression de Marcellin Berthelot, « il y a cinquante à soixante ans, la Société Philomathique était comme une seconde Académie des Sciences, ou bien, suivant une expression familière, comme une antichambre de l'Académie. »

SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE

DE PARIS

15 JANVIER 1925.

Membres du Conseil (8)
en 1923, 1924 et 1925.

MM.

BELOT.

BERTHELOT.

CAYEUX.

GRAVIER.

HENNEGUY.

JOUBIN.

KOENIGS.

PELLEGRIN.

Membres du Bureau
en 1923.

Président :

MM. BECQUEREL.

Vice-président :

ANTHONY.

Secrétaire général :

MARAGE.

Trésorier :

NOÉ.

Secrétaire :

GERMAIN.

Vice-Secrétaires :

SEMICHON et CHAUCHARD.

Archiviste :

Mme CHAUCHARD.

Commission du Bulletin :

MM. CAYEUX, DONGIER, LEAU, MOUREU, NEU-
VILLE, PERRIER.

Commission des Finances :

BOUVIER, MATIGNON, NICOLARDOT.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS

Fondée en 1788

État de la Société au 1^{er} Janvier 1925

PREMIÈRE SECTION. — SCIENCES MATHÉMATIQUES

MEMBRES HONORAIRES

MM.

- 1860 (2 juin). HATON DE LA GOUPILLÈRE (J. Napoléon), M. I., 56, rue de Vaugirard (6°).
1887 (17 déc.). KOENIGS, P. F. S., 77, faubourg Saint-Jacques (14°).
1900 (10 mars). LEAU, P. F. S., Nancy, 8, rue Montesquieu.
— (22 déc.). LE ROY, P. L. Saint-Louis, 27, rue Cassette (6°).
1902 (27 juin). DESCHAMPS, 195, rue de Tolbiac (13°).

MEMBRES TITULAIRES (20)

MM.

- 1902 (13 déc.). GRÉVY, P. L. St-Louis, 71, r. Claude-Bernard (5°).
1905 (14 janv.). MAILLET, I. P. C., 11, rue de Fontenay, à Bourg-la-Reine (Seine).
1905 (27 mai). SERVANT, Chef destr F. S., 12, rue Victor-Cousin (5°).
1906 (8 déc.). FATOU, astronome adjoint à l'Observatoire, 172, boulevard Montparnasse (14°).
1906 (22 déc.). HENRI (Victor), prof. à l'Université, Zurich.
1907 (11 mai). CHAPELON (J.-J.), Ing. au Corps des M., 2, boulevard Morland.
1908 (9 mai). ROUSIER, 62, boulevard Montparnasse (15°).
1909 (26 juin). LÉAUTÉ (André), 26, rue Fabert (7°).
1912 (11 mai). PERRIER (Colonel Georges), 39 bis, boulevard Exelmans, (16°).

- 1914 (26 janv.). VLES, P. F. S., Strasbourg.
- 1916 (24 oct.). BELOT (Emile), Direct. de la Manuf. de Tabacs de Paris-Reuilly, 319, rue de Charenton (12^e).
- 1917 (19 nov.). QUIQUET, vice-président de l'Institut des actuaires français, 92, boulevard Saint-Germain (5^e).
- 1923 (25 mars). A. GÉRARDIN, 32, quai Claude Le Lorrain, Nancy.
- — VOGT, P. F. S., 33, rue du Grand-Verger, Nancy.
- — DARMOIS (Georges), P. F. S., 42, rue des Quatre-Eglises, Nancy.
- 1923 (7 mai). LE ROUX (Jean), P. F. S., Rennes, 47, faubourg de Fougères.
- — MAZOUÉ, actuaire, 7, avenue Rapp, (7^e).
- 1923 (12 nov.). GIRAUD, P. F. S., Clermont-Ferrand, Fontmaure à Chamallières (Puy-de-Dôme).
- — HAAG, P. F. S., rue Morel-Ladeuil, Clermont-Ferrand.
- — HUSSON, P. F. S., 107 bis, rue Isabey, Nancy.

MEMBRES CORRESPONDANTS

M.

- 1907 (9 fév.). DESMOULIN, P. F. S., 10, rue Joseph-Plateau, Gand.

DEUXIEME SECTION. — SCIENCES PHYSIQUES

MEMBRES HONORAIRES

MM.

- 1874 (23 mai). BRANLY, M. I. Professeur Inst Cath., 21, avenue de Tourville (7^e).
- 1884 (9 avril). BOURGEOIS (Léon), R. E. P., 1 bd. Henri-IV (4^e).
- 1886 (17 avril). BORDET (Lucien), 181, boulevard Saint-Germain (7^e).
- 1887 (9 juillet). VALLOT (Joseph), Directeur de l'Obs. du Mont-Blanc, 37, rue Cotta, à Nice.
- 1901 (26 janv.). VINCENT, P. L. Saint-Louis, 26, rue de Staël (15^e).
- (14 déc.). BENOIST, P. H. L. Henri-IV, Gan (Basses-Pyrénées).
- (28 déc.). DONGIER, Météor. tit. Obs. de Paris, 5, r. Bobierre, Bourg-la-Reine.
- 1902 (13 déc.). MATIGNON, P. C. F., 17, bd. Carnot, Bourg-la-Reine.
- 1903 (28 fév.). WINTER, 44, rue Saint-Placide (6^e).

- (14 mars). BERTHELOT (Daniel), P. F. Ph. M. I., 168, boulevard Saint-Germain (6°).
- — DESGREZ, P. F. M., 78, bd. Saint-Germain (5°).
- (12 déc.). DARZENS, Répét. E. P., 22, av. Ledru-Rollin (12°).
- 1904 (29 mai). MOUREU, M. I., M. A. M., P. C. F., 18, rue Pierre-Curie (5°).
- — MAHLER, Ing. civil des Mines, 2, r. Decamps (16°).
- 1904 (9 juillet). MARAGE, C. C. U. P., 19, rue Cambon (1^{er}).

MEMBRES TITULAIRES (20)

MM.

- 1905 (14 janv.). HALLION, M. A. M., 54, faub. Saint-Honoré (8°).
- 1905 (11 mars). VALEUR, Agrégé F. Ph., 54, avenue de la République, Villejuif (Seine).
- (1^{er} avril). GOUTAL, P., suppl. E. M., 60, boulevard Saint-Michel (6°).
- (13 mai). MOUNEYRAT, 20, rue de l'Abbé-de-L'Épée (5°).
- 1906 (13 janv.). MAYER, 33, rue du Faubourg-Poissonnière (9°).
- (24 fév.). JOANNIS, P. F. S., 7, rue des Imbergères, Sceaux.
- 1907 (14 déc.). BECQUEREL (Jean), I. P. C., P. M., 30 boulevard Thiers, Fontainebleau.
- 1910 (12 mars). NICOLARDOT, 95, rue de Vaugirard (6°).
- 1912 (10 fév.). TERROINE, P. F. S., Strasbourg.
- 1912 (28 avril). SCHAEFFER (G.), P. F. S., Strasbourg, allée de la Robertsan, 56.
- 1912 (22 juin). MOREL (L.), C. de T. E. H., 31, bd. Raspail (6°).
- (22 juin). STODEL, M. C. E. H., 15, boulevard Delessert (16°).
- 1914 (26 janv.). MONPILLARD, 22, boulevard Saint-Marcel (5°).
- — TOURNAY, 10, rue de Castellane (8°).
- 1923 (19 mars). CROZE, P. F. S. de Nancy, 179, rue d'Alésia (14°).
- (7 mai). FERRIÉ (Général), 2, square de la Tour-Mau-bourg (7°).
- — GUILLAUME (Ch.-Ed.), pavillon de Breteuil, Sèvres.
- 1923 (12 nov.). BOURION, P. F. S., 65, rue du Général-Fabrier, Nancy.
- — DARMOIS (Eugène), P. F. S., Nancy.
- — GRUMBACH, P. F. S., Nancy.

MEMBRES CORRESPONDANTS

MM.

- 1905 (13 mai). MATHIAS, P. F. S., Clermont-Ferrand.
 1912 (9 déc.). LALOU, Socrate, P. F. S., 5, rue Victor Emmanuel
 Bucarest (3^e), (Roumanie).
 1913 (13 janv.). LARGUIER DES BANCELS, Prof. Université, Lausanne.
 1904 (23 janv.). CHAUBEAU, 25, rue des Gentilshommes, Luçon
 (Vendée).

TROISIÈME SECTION. — SCIENCES NATURELLES

MEMBRES HONORAIRES

MM.

- 1879 (10 mai). HENNEGUY (Louis Félix), M. I., M. A. M., P. C. F.,
 9, rue Thénard (5^e).
 1886 (13 fév.). BOUVIER (E.-L.), M. I., P. M., 55, rue de Buffon (5^e)
 1890 (21 fév.). ROCHÉ, 4, rue Dante (5^e).
 1893 (27 oct.). DE GUERNE, 6, rue de Tournon (6^e).
 1899 (14 janv.). LECAILLON, P. F. S. Toulouse, 1, rue Mondran.
 — (25 mars). NEUVILLE, Prép. Mus., 55, rue de Buffon (5^e).
 1901 (12 janv.). PELLEGRIN (J.), A. M., 1, rue Vauquelin (5^e).
 — (18 mai). GUIEYSSE, Chef de Lab. F. M., 26, rue Vavin (6^e).
 1902 (12 janv.). CHAUBEAUD, Direct. adj. de Lab. (Hautes-Etudes),
 16, avenue d'Orléans (14^e).
 — (8 fév.). RABAUD, P. F. S., 3, rue Vauquelin (5^e).
 1902 (27 juin). LESAGE, Méd. des Hôp. 226, boulevard Saint-Ger-
 main (7^e).
 — (22 nov.). ANTHONY, P. M., 55, rue de Buffon (5^e).
 1903 (28 fév.). COUTIÈRE, P. F. Ph., 20, rue de Tournon (6^e).
 — (11 avril). LANGERON, Prép. F. M., Ecole de Médecine, (5^e).
 — (27 juin). NOÉ, D. M., 51, boulevard Montparnasse (6^e).

MEMBRES TITULAIRES (20)

MM.

- 1889 (10 fév.). MÉNÉGAUX, A. M. 55, rue de Buffon (réintégré le
 23 avril 1904) (5^e).
 1904 (9 janv.). GRANDIDIER (G.), 2, rue Goethe (16^e).
 — (23 janv.). JOUBIN, P. M., M. I., 21, rue de l'Odéon (6^e).

- (26 mars). GRAVIER, P. M., M. I., 61, rue de Buffon (5^e).
- (29 mai). MICHEL (Aug.), P. L. Michelet, 7, rue Pierre-Nicole (5^e).
- (9 juil.). LAUNOY (L.), Prép. Inst. Pasteur, 17, rue de Lorraine, à Saint-Germain-en-Laye.
- 1905 (28 janv.). CAYEUX, P. C. F., P. I. A., 6, place Denfert-Rochereau (14^e).
- 1909 (13 mars). LEGENDRE (R.), Direct. Lab. Hautes Etudes, 27, rue d'Alésia (14^e).
- 1911 (11 mars). FAURÉ-FRÉMIET, Prép. C. F., 46, rue des Ecoles (5^e).
- 1912 (10 fév.). GERMAIN, A. M. et à l'Institut Océanographique, 55, rue de Buffon (5^e).
- — LAMY, A. M., 55, rue du Buffon (5^e).
- (28 avril). SEMICHON, Prép. Mus., 4, rue Honoré Chevalier, (6^e).
- 1913 (13 janv.). VIGUIER, P. F. S. de Caen.
- (13 janv.). GUYÉNOT, Professeur de Zoologie, à l'Université de Genève.
- (22 déc.). MAWAS, 141, boulevard Saint-Michel (5^e).
- 1923 (7 mai). NEVEU-LEMAIRE, P. F. M., 9, rue de la Montagne-Sainte-Genève (5^e).
- — CHAUCHARD, D. M., D. S., 1, rue Victor-Cousin (5^e).
- — CHAUCHARD (Mme), D. M., D. S., 1, rue Victor-Cousin (5^e).
- 1923 (12 nov.). MAIGNON, Prof. Physiol., Ecole Vétérinaire d'Alfort, 171, rue de Tolbiac (13^e).
- 1925 (12 janv.). LIACRE, D. M., D. S., 33, rue de Verneuil (6^e).

MEMBRES CORRESPONDANTS

MM.

- 1903 (28 nov.). DEVEZ, Cayenne.
- (23 avril). TUR, Ass. à l'Univ. de Varsovie.
- (29 mai). MARCEAU, P. E. M., Besançon, à l'Ecole de Médecine.
- (15 avril). DIGUET (L.), 16, rue Lacuée (12^e).

Agent. — M. PATÉRON, 1, rue Victor-Cousin, Paris (5^e).

SÉANCE DU 12 JANVIER

A 21 H. AMPHITHÉÂTRE DE PHYSIOLOGIE.

Présidence de M. Belot.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

La correspondance comprend des lettres de démission de MM. Bioche, du Boberil et Rivet.

Les comptes du trésorier approuvés par la commission sont adoptés : ils seront publiés dans le prochain bulletin ; des remerciements sont votés à M. Noé, dont les pouvoirs sont renouvelés.

Le Président fait part du décès de M. Petit, membre correspondant, et du Prince Roland Bonaparte, membre honoraire.

M. Noé lit un rapport sur les travaux de M. Liacre, docteur en Médecine et docteur ès-sciences présenté par MM. Noé et Marage :

Elections. — M. Becquerel vice-président devenant président, M. Belot, est nommé membre du Conseil.

M. Anthony est élu vice-président.

M. Chauchard est nommé vice-secrétaire.

MM. Bouvier, Cayeux, Fauré-Frémiet, Germain, Pellegrin, sont délégués auprès de la fédération des sociétés de sciences naturelles.

M. Noé présente, avec M. MARAGE, le rapport suivant sur la candidature de M. ALBERT LIACRE dans la section des Sciences naturelles :

M. LIACRE a soutenu, en mai 1923, à la Faculté des sciences de Paris une thèse de Doctorat ès-sciences, intitulée : « *Recherches sur les altérations de la fibre nerveuse à myéline, produites par les fixateurs* ». Les observations ont porté, sur les branches (péronière et tibiale) du nerf sciatique, examinées à l'état frais chez la grenouille suivant la technique qui avait été précédemment indiquée par notre collègue, M. R. LEGENDRE. Normalement la gaine de myéline présente des bords rectilignes et parallèles ; elle a une très mince épaisseur et est beaucoup moins large que le cylindre-axe. Or, tous les fixateurs modifient cet aspect d'une façon plus ou moins diverse et donnent le même résultat soit que l'on applique la méthode de fixation classique, soit que l'on emploie la fixation en petite quantité, et lentement, goutte à goutte. La myéline devient toujours beaucoup plus épaisse qu'à l'état frais,

tandis que le cylindre-axe, profondément altéré, devient beaucoup moins large. L'acide osmique et le liquide de Müller sont les fixateurs qui provoquent les altérations morphologiques les moins intenses.

Le fait le plus caractéristique, c'est que l'action du xylol ramène toutes les déformations à un seul et même type : myéline très large, d'une seule coulée, sans granulations, cylindre-axe très étroit. Elle est constante et se produit même quand aucun fixateur n'a été au préalable utilisé. Les alcalins, tels que $\text{CO}_3 \text{Na}^2$ à 10 0/0, donnent une image absolument identique. L'aspect obtenu diffère considérablement de celui qui montre l'examen de la fibre nerveuse à l'état vivant ; on a donc décrit pour elle une configuration qui résulte d'un artéfact. Pour expliquer ces faits, M. LIACRE invoque des données physico chimiques et, avant tout, les modifications profondes que subit la tension superficielle au contact de deux complexes tels que la gaine de myéline et le cylindre-axe. L'abaissement de cette tension déterminerait l'étalement de la myéline.

M. LIACRE est également Docteur en médecine depuis 1919. Sa thèse, poursuivie dans le laboratoire de M. le Professeur LAPICQUE, est relative à la *Digestion des cellules à aleurone du blé* ; c'est une intéressante contribution à l'étude scientifique du pain bis. Les recherches ont porté sur toute une série de produits (blé entier, gros sons, recoupettes, farines et pain), avant et après la digestion. En se fondant sur l'examen histologique des cellules à aleurone, il a montré qu'elles peuvent parfaitement être digérées, mais à condition que leur membrane soit rompue de façon à permettre l'action immédiate des sucs digestifs. Leur état n'est influencé ni par la fermentation, ni par une température de 100° , c'est-à-dire par la cuisson du pain. Leur digestibilité ne dépend que des altérations d'ordre mécanique, portant sur la membrane cellulaire. Elle est d'autant plus parfaite que les solutions de continuité sont plus complètes, ce qui est pratiquement obtenu par la mouture fine du son. L'utilisation de l'assise des cellules à aleurone ferait gagner, en matières nutritives, environ 1 0/0 du poids du pain.

Pendant la saison balnéaire, M. LIACRE exerce la médecine à *Allevard* (Isère). Il y poursuit d'intéressants travaux sur les meilleures conditions d'activité des inhalations sulphydriquées pour le traitement décongestif des organes respiratoires.

La séance est levée à 22 heures.

DEUXIÈME SÉANCE A 22 H. 15.

M. Liacre est élu membre de la société dans la troisième section.

La naissance et la mort de la Terre ⁽¹⁾

PAR M. BELOT

*Ingénieur en chef des Manufactures de l'Etat,
président.*

Dès l'aurore de l'humanité les hommes vivant des produits de la Terre vouèrent à leur mère nourricière un amour qui alla jusqu'à un culte : mais cet amour était mêlé de crainte. Car cette Mère, parfois marâtre, les laissait à certaines époques en proie à la famine et au froid et les obligeait à se réfugier dans des cavernes où nous retrouvons les traces de leur vie misérable et précaire. Nos premiers ancêtres avaient assisté terrifiés à l'effondrement de l'Atlantide dans les flots Océaniques, à l'envahissement des glaciations quaternaires sur des terres primitivement habitées et aux paroxysmes des éruptions volcaniques, consécutives aux surrections des montagnes au tertiaire.

Témoins de cataclysmes aussi impressionnants et conscients de leur impuissance en face des forces naturelles, ils durent de bonne heure porter leurs pensées vers les questions qui obsèdent encore l'esprit des savants modernes :

Quelle est l'Origine de la Terre, comment est-elle sortie des profondeurs des cieux qui l'entourent ?

Que la mythologie chaldéenne divinise le Ciel et la Terre sous les noms d'Anshar et Kishar, que la mythologie égyptienne les appelle Nouît et Sibou, elles ont cela de commun qu'elles imaginent des luttes homériques pour faire sortir les êtres cosmiques, la Terre comme les planètes, d'un chaos également divinisé. Confusément l'imagination des primitifs, astrologues ou poètes, sentait l'immensité de la puissance mise en jeu pour façonner les Mondes et entrevoyait l'antagonisme des forces qui avaient présidé à leur naissance.

Franchissons d'un bond les 60 siècles qui séparent les mythologies antiques du siècle où ont été produites les hypothèses de Kant et de Laplace ; le même problème est posé : comment d'un chaos amorphe et nébuleux les planètes et la Terre en particulier, vont elles pouvoir sortir en se différenciant du reste de l'Univers ? En un sens, le pro-

(1) Conférence publique faite à la Sorbonne le 8 décembre 1924.

blème était, il y a un siècle, moins avancé que dans l'antiquité où les sages avaient eu l'heureuse inspiration de faire naître les astres comme naissent tous les êtres de la Création, d'un dualisme originel.

La Cosmogonie ou science de l'origine des astres a eu la mauvaise fortune d'être accaparée depuis deux siècles par des théoriciens beaucoup plus habiles à jongler avec des intégrales basées sur des hypothèses gratuites et invérifiables, qu'à descendre dans les réalités physiques qui exigent un sens pratique affiné pour y discerner les données à soumettre au traitement mathématique.

Qu'est-ce qu'une planète pour un mathématicien ? Un point doué de masse circulant dans le vide interplanétaire. Qu'est-ce qu'une planète à ses origines pour un astrophysicien ? Une masse *peu dense*, puisqu'elle n'est pas condensée, *douée de rotation* et circulant dans le *milieu résistant de la nébuleuse*. Une expérience simple va nous montrer l'opposition radicale qui existe entre ces deux conceptions.

Une masse M assez dense glissant le long d'un plan incliné P en échappant à son extrémité P' va décrire à peu près la parabole théorique en avant de la verticale de P' parce que la masse est assez dense pour ne rien craindre de la résistance de l'air, résistance qui, pour nous, représentera celle de la nébuleuse.

Prenons au contraire une masse en rotation T d'une densité très peu différente de l'air sous forme d'un tube de papier léger qui dans notre esprit matérialisera les tourbillons planétaires dont je vous démontrerai l'existence dans un instant. Ce tube T acquerra en glissant sur le plan P une rotation et en tombant dans l'air à l'extrémité P' il parcourra une trajectoire paradoxale qui le fera reculer assez loin sous le plan P . C'est que la rotation du tube augmente la densité de l'air en avant du plan de chute et la diminue en arrière de ce même plan, en sorte que le tube se porte du côté de la moindre résistance. On voit quelle erreur on commettrait en appliquant à ce projectile T la balistique théorique ordinaire.

L'ensemble de mes recherches m'a d'ailleurs conduit à cette proposition paradoxale dont je vous donnerai l'explication plus loin.

L'Architecture des Mondes ne dépend pas de la gravitation, qui assure seulement sa stabilité : elle est l'œuvre des forces répulsives.

La Science de Laplace, prisonnière de l'Idée newtonienne, parce que son magistère scrutait et expliquait d'une manière merveilleuse tous les faits *actuels* du système solaire limitait son imagination à l'exploitation de la seule force de la *gravitation* appliquée à une *nébuleuse unique*, sans même se poser la question de savoir si d'autres forces que la

pesanteur comme les forces dispersives dues à des chocs ou la force répulsive de radiation, pouvaient l'avoir dominée à l'origine et si le concept de nébuleuse unique n'était pas en contradiction avec le dualisme que la nature nous montre à la naissance de tous les êtres et que nous allons trouver aussi à la naissance des êtres cosmiques.

Impuissance de l'Astronomie newtonienne et de la Géologie à expliquer la naissance de la Terre dans la nébuleuse.

Si l'on questionnait un astronome de l'école de Laplace sur la naissance de la Terre il vous répondait :

Je crois voir dans l'atmosphère diffuse du Soleil primitif de distance en distance des anneaux : chacun a formé une seule planète : la Terre, comme toutes les planètes, s'est formée par la condensation d'un anneau nébuleux. Au delà je ne vois pas bien comment cette condensation s'est produite pour former la sphère terrestre, mais la Géologie pourra sans doute vous donner quelques éclaircissements. Questionnés à leur tour, les géologues répondaient :

Si nous remontons dans le temps plus loin que l'époque précambrienne, la géologie ne trouve plus de fossiles : elle ne peut donc rien dater ni préciser. Elle enseigne seulement que l'histoire de la Terre se répète en des *cycles géologiques* et que les causes actuelles ont à toute époque transformé sa surface comme elles travaillent actuellement (doctrine de l'actualisme).

Ainsi donc astronomes et géologues se renvoyaient la balle terrestre et laissaient ainsi le berceau de la Terre à sa naissance environné de voiles impénétrables.

Le physicien objectait à l'Astronome : j'admets votre anneau de Laplace ; H. Poincaré a démontré qu'il ne pouvait rester longtemps stable en raison de sa densité croissante, il se rompra donc en morceaux. Mais pourquoi tous ces morceaux situés à la même distance du Soleil vont-ils se rejoindre le long d'une orbite de 950 millions de kilomètres de longueur pour ne former qu'une seule terre ? Est-ce que l'Astronomie elle-même n'a pas démontré qu'il pouvait y avoir plusieurs planètes circulant sur des orbites stables à la même distance du Soleil, et ne voyons-nous pas les petites planètes de la famille de Jupiter circuler à la même distance que la planète géante occupant précisément ces points de Lagrange où leur stabilité est assurée, au sommet d'un hexagone ayant pour centre le Soleil. Et quand on voit une énorme planète comme Jupiter incapable de faire rentrer dans son domaine

et dans sa masse de petits astéroïdes, comment les morceaux d'une Terre dont la masse totale est 310 fois moindre que celle de Jupiter auraient-ils été capables de se réunir en une seule planète ?

Mais ce n'est pas tout : il faut que tous ces morceaux arrivent à donner une terre animée d'une rotation de sens direct rapide en 24 heures.

Le calcul des probabilités voudrait que la Terre eût eu une durée de rotation très longue par la réunion de tous ces morceaux dont une moitié aurait donné un mouvement rétrograde au noyau terrestre et l'autre moitié un mouvement direct.

Le Physicien découragé du côté de l'Astronomie va maintenant poser quelques questions indiscrètes au Géologue :

Vous prétendez que l'histoire de la Terre s'explique par les causes actuelles ayant agi dans le passé en des cycles géologiques qui se répètent ; mais tous les savants pensent qu'à l'origine les matériaux de la Terre naissante étaient portés à une haute température de 2.000 à 3.000° ; l'eau n'y existait même pas en vapeur à sa surface : car au-dessus de 1.300° l'hydrogène et l'oxygène vivaient en frères ennemis, refusant de se combiner pour former de l'eau : et 1.300° c'est la température de dissociation de l'eau. Cette ère paléothermale a été peut-être assez courte, mais elle ne se renouvellera pas à moins d'un cataclysme comme la rencontre de la Terre avec un autre astre : elle est donc irréversible, n'appartient à aucun des cycles envisagés par la Géologie, et a vu en action des forces n'ayant rien de commun avec les forces actuelles ni comme puissance, ni comme niveau d'action (potentiel).

Le géologue sera bien obligé d'admettre qu'il existe un hiatus dans l'histoire de la Terre à sa naissance, entre sa période astronomique et sa période précambrienne étudiée par la géologie qui ne peut être comblé que par le géophysicien mettant en œuvre les données précises de la Cosmogonie.

I. — La naissance de la Terre d'après la Cosmogonie dualiste et tourbillonnaire (1).

Ici un sceptique ayant lu la préface du livre de Poincaré sur les *hypothèses cosmogoniques* esquissera peut-être un sourire pour nous demander : existe-t-il donc une Cosmogonie utilisable par la Science de

(1) Exposée dans l'*Origine dualiste des Mondes*, par M. E. Belot (Paris, Payot, 1924).

la Terre et capable de précision ? Précisément la Cosmogonie dualiste et tourbillonnaire répond à ce programme : à l'encontre de toutes les Cosmogonies antérieures, elle a repris la méthode féconde qui a permis à Képler et Newton de fonder l'Astronomie moderne et a pu remonter jusqu'aux phénomènes des origines en découvrant des lois nouvelles du système solaire. — Une conséquence inattendue de cette théorie est la confirmation des vues prophétiques de Descartes qui a prévu que dans la nébuleuse primitive devaient exister des tourbillons cosmiques.

Ici il faut faire table rase de toutes les théories de la Terre, théories du réseau pentagonal, tétraédriques, de la contraction, de la dérive des continents, etc....

Ces théories sont des œuvres d'imagination mettant en œuvre des hypothèses *a priori* invérifiables : toute autre est la théorie nouvelle établie en 1914 et fondée sur des réalités tirées du système solaire, vérifiées par toutes les planètes : la Terre en tant que planète est obligée d'obéir à toutes ces lois démontrées pour les autres planètes. Et cette méthode de recherche que j'applique depuis plus de 20 ans m'a permis d'obtenir sur l'origine de la Terre des précisions qui vont peut-être étonner.

Pour bien comprendre la naissance de la terre, reportons-nous à la genèse de tous les êtres vivants : ils naissent de la rencontre de deux êtres antérieurs déjà différenciés. L'un produit un germe qui fécondera l'autre et se nourrira de sa substance. L'embryon va croître pendant une période de gestation très courte en comparaison de la durée de la vie de l'être parfait : mais l'embryon aura le plus souvent une forme allongée comme une larve avant de donner naissance à l'être parfait. Or j'ai pu montrer qu'il y a une admirable *unité du plan génétique* dans tout l'Univers ; les êtres cosmiques à leur naissance suivent très exactement les phases des êtres vivants : la terre, comme toutes les planètes, doit sa naissance à la rencontre de deux êtres cosmiques antérieurs, le *protosoleil* et la *nébuleuse primitive*.

Cette rencontre, semblable à celle que l'on photographie dans les Novæ (1), donne naissance à l'embryon terrestre qui prendra successivement les formes suivantes :

(1) En 1905 les astronomes étaient très sceptiques à l'égard de mon hypothèse assimilant le protosoleil à l'astre central d'une Nova : mais en 1923 le professeur américain Bayley ayant fait la statistique des Novæ au-dessus de la 10^e grandeur a trouvé que depuis 30 ans il en avait apparu

1^o germe matériel issu de l'Equateur du protosoleil sous forme de *nappe tourbillonnaire* qui monte dans la nébuleuse en s'alimentant de sa matière ;

2^o tourbillon planétaire où se ramasse toute la matière de la nappe sur un bord de celle-ci et dont l'axe est dirigé suivant l'axe de la future planète. A cette phase le tourbillon terrestre a la forme allongée d'une larve qui dans la phase 3 va donner naissance à l'être parfait, la Terre. C'est pendant la phase tourbillonnaire que la vibration du tourbillon en détache à l'Equateur des *nappes satellitaires* ;

3^o condensation du tourbillon instable au point de vue de la gravitation, sous forme d'un ellipsoïde conservant le même axe de rotation.

C'est le protosoleil qui donne à la future planète son *mouvement de révolution* et c'est la nébuleuse qui lui donne son *mouvement de rotation* autour de son axe ; grâce à l'énorme vitesse du choc cosmique à la vitesse de l'ordre de 2.000 kilom. par seconde la durée totale de ces 3 phases n'a pas excédé quelques années, ce qui paraîtra peu pour la genèse de planètes dont quelques-unes sont géantes, mais c'est une durée qui coïncide avec celle de l'évolution des étoiles nouvelles.

Nous allons maintenant étudier successivement les trois phases de l'embryon terrestre. D'abord comment le protosoleil émet il par son équateur le germe planétaire ? L'expérience suivante va nous expliquer ce mécanisme.

Voici pour représenter le protosoleil une sphère élastique limitée à deux méridiens en fer blanc minces soudés aux deux pôles. Un choc au pôle détermine une pulsation dans cette sphère qui se renfle alternativement à l'Equateur et au pôle. On connaît beaucoup d'étoiles (Céphéïdes et Novae) présentant une variation périodique de leur lumière expliquée par leur pulsation et le soleil lui-même a une pulsation undécennale. Si maintenant nous plaçons sur l'Equateur de cette sphère des arcs équatoriaux et que l'on vienne à choquer la région polaire, ces arcs sont projetés radialement par le renflement équatorial.

De même dans la nature le choc de la nébuleuse près du pôle du protosoleil fera émettre à son équateur une nappe planétaire : il y aura autant de nappes planétaires que de pulsations ayant une énergie suffisante. La terre est formée par la 8^e nappe à partir du centre comme à partir de la nappe ultra-neptunienne.

40 par an ; si la même proportion s'est continuée pendant 500 millions d'années il y aurait beaucoup plus de Novae que d'étoiles : ainsi le soleil a dû passer par la phase de Nova comme toutes les étoiles.

Les deux astres dont le choc a produit la famille planétaire étaient un soleil géant (protosoleil) dont le rayon était 62,3 fois (1) le rayon du soleil actuel ou 43,4 millions de kilomètres et une nébuleuse dont la vitesse de translation avait une composante V d'arrière en avant du plan de la figure. Le choc du protosoleil en I (à la vitesse de l'ordre de 2.000 kilom. que l'on a constatée dans les dernières Novae) choc analogue à celui d'une étoile nouvelle ou Nova, le fit vibrer dans sa masse, ce qui produisit des renflements périodiques dont 3 seulement ont été

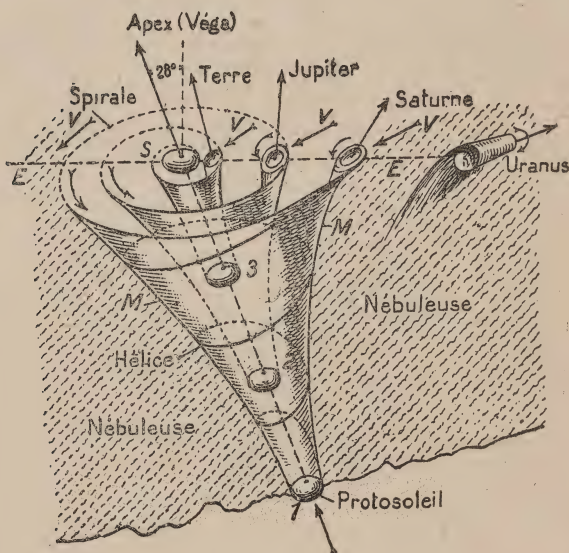


Fig. 1.

figurés : de chaque renflement équatorial jaillit une nappe planétaire s'épanouissant vers l'écliptique primitive E . Ces nappes en forme de tulipe évasée dont la méridienne est une courbe logarithmique tournaient dans le sens direct en sorte qu'à un certain niveau dans la nébuleuse leur vitesse fût, du côté droit de la figure, directement opposée à la vitesse V de la nébuleuse. C'est là le phénomène capital qui rebroussa chaque nappe planétaire en l'enroulant sur elle-même de

(1) C'est le premier terme de la loi des distances planétaires $X^n = 62,3 + 1,886^n$ (X^n en rayons solaires).

manière à condenser toute sa masse en un tourbillon dont l'axe est l'axe de la future planète. On voit que les tourbillons planétaires sont à des distances variées du centre, distances qui dépendent des positions équidistantes 1, 2, 3 du protosoleil. Or la loi des distances planétaires est très exactement vérifiée par les distances des planètes. De même les inclinaisons des axes planétaires sont bien vérifiées par les inclinaisons des axes des tourbillons qui sont faciles à calculer théoriquement (1).

Mais on peut maintenant prouver que la direction Nord de chaque axe planétaire (et en particulier pour la terre) est bien la direction de translation de la planète dans la nébuleuse.

Quand une fusée est lancée dans le milieu résistant de l'air elle abandonne sa trajectoire des particules enflammées. Nous allons de même retrouver pour chaque planète (Mars, Jupiter et Saturne) les petites planètes, particules abandonnées dans leur parcours à travers la nébuleuse : or elles dessinent la direction des axes planétaires qui marque donc bien celle de la translation des planètes dans la nébuleuse. J'avais prévu dès 1911 que Saturne devait avoir une file de petites planètes alignées dans la direction de son axe. Or on a découvert la première (Hz 1920) en 1920 et l'on en trouvera d'autres en moyenne placées sur cette ligne.

Ainsi la nouvelle Cosmogonie est fondée sur des lois nouvelles qu'elle démontre et vérifie, comme l'Astronomie moderne a eu pour fondement les trois lois de Képler démontrées par Newton.

La terre a donc commencé par avoir une partie de ses matériaux pris au protosoleil et étalés sur la surface d'une nappe planétaire qui s'est enrichie des particules denses appelées vers le centre et qui s'est ramassée en un tourbillon cylindro-cônique A B qui a continué à capter par attraction les éléments denses dispersés dans la nébuleuse. Le diamètre du tourbillon terrestre était seulement 0,35 du diamètre de la terre, il était égal au diamètre du parallèle situé à la latitude de 70°. Or si l'on calcule la densité d'une sphère ayant ce diamètre et la même masse que la terre on trouve que cette densité devrait être 128 ce qui est absurde. La même impossibilité se rencontre quand on fait le même calcul pour les planètes Mars, Jupiter et Saturne. Cela prouve bien que la matière planétaire a dû être contenue à l'origine dans un volume allongé dans le sens de l'axe. Mais comme un tel tourbillon remplit de

(1) La loi des inclinaisons des axes planétaires montre qu'à l'origine ils convergent en un point de la trajectoire du protosoleil.

matière douée d'attraction est instable au point de vue de la gravitation, il finira par se ramasser en un ellipsoïde T dont l'Equateur passant par son centre de gravité sera perpendiculaire à l'axe du tourbillon.

Le système Terre-Lune. — Ainsi donc la terre a eu une forme allongée et provisoire comme celle d'une larve avant d'atteindre à sa forme définitive ellipsoïdale : mais entre la phase de la larve terrestre et sa phase géologique des phénomènes très importants pour l'avenir de la terre allaient prendre naissance. Cherchons d'abord quelle pouvait être la longueur du tourbillon terrestre dont la densité était certainement très faible puisque ses matériaux étaient en grande partie en vapeur : avec une densité égale à celle de l'eau, le tourbillon terrestre aurait eu

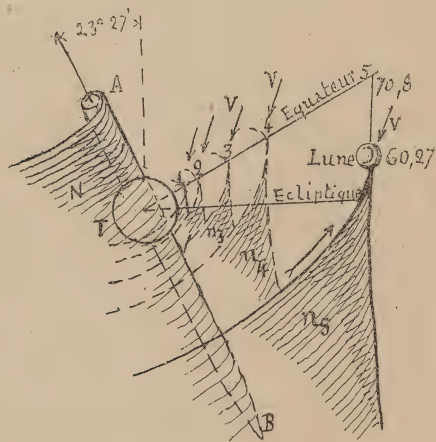


Fig. 2. — Tourbillon terrestre A B émettant ses nappes satellitaires n_1 , n_2 , n_3 , n_4 et n_5 (Lune avant de se condenser en une sphère T (Terre).

comme longueur la distance 60 de la lune. Cette longueur est certainement un minimum. Or un tourbillon gazeux comme toute surface tourbillonnaire est éminemment susceptible de vibration : l'aplatissement du tourbillon terrestre dans le sens de sa longueur le fera vibrer au point que son équateur laissera échapper à son tour des nappes satellitaires, d'autant plus facilement que l'attraction centrale dans un tourbillon allongé est de beaucoup plus faible que si sa masse était concentrée dans une sphère. Le calcul montre que la nappe de la lune n'est que la 5^e nappe satellitaire : ainsi quatre autres zones satellitaires X_1 , X_2 , X_3 , X_4 s'échelonnaient aux distances 1,35—3,2—8,7—24,6

inférieures à la distance moyenne 60,2 de la lune (1). Puisque ces satellites n'existent pas, c'est qu'au cours des temps géologiques, ils se sont précipités à des époques différentes dans la région équatoriale de la terre.

On peut chercher à contrôler cette histoire inédite des satellites de la terre par notre voisine, la planète Mars : Mars a encore deux satellites Deimos et Phobos qui aux distances 2,77 et 6,95 correspondent bien aux deux satellites primitifs X_2 X_3 de la terre ; les satellites suivants 17,84 — 58,14 de Mars auraient été instables en raison de la faible masse de Mars ; c'est pour cela que Mars n'a pas de gros satellite correspondant à la lune. Par contre une autre notion imprévue nous est apportée par Mars : la queue du tourbillon de Mars en vibrant dans la nébuleuse y a abandonné une partie de sa masse sous forme de 3 petites planètes Eros, Adalberta et Hungaria.

Rôle de la force répulsive. — Mais il est aussi un phénomène d'une rapidité inouïe qui a eu pour la terre cette conséquence remarquable de lui donner la densité la plus grande (5,52) parmi les planètes (sauf peut-être Mercure). Quand une Nova apparaît, le choc cosmique produit une radiation (24.000° au lieu de 6.000° pour le soleil) d'une puissance telle que sa force répulsive est de l'ordre de 256 fois celle du soleil. C'est dire qu'elle lutte avec avantage contre la gravitation au moins sur les particules de petite dimension, de peu de densité et de couleur blanchâtre qui existent dans la nébuleuse. Ainsi donc le premier effet du passage d'une radiation puissante dans une nébuleuse, effet qu'ignorait Laplace, est de repousser loin du centre une partie de sa matière avec une vitesse comparable à celle de la lumière ; ainsi la radiation a agi dans la nébuleuse solaire comme un filtre sélecteur de ses matériaux repoussant loin du centre les masses abondantes et légères qui ont formé les planètes géantes Jupiter et Saturne. Près du centre ne pouvaient alors subsister que les matières denses, comme les composés métalliques pour lesquels la gravitation domine facilement la force répulsive. La gaine sphéroïdale de matières repoussées par la radiation passait entre Mars et Jupiter : voilà pourquoi les quatre planètes inférieures (dont la terre) ont eu peu de masse mais une densité qui à l'origine était sans doute celle du fer.

Mais après que la radiation de la Nova solaire s'est progressivement amoindrie et que les masses légères se sont elles-mêmes condensées en particules plus massives, elles deviennent à leur tour justiciables de la

(1) Distances données par la loi $X^n = 0,35 + 2,8972^n$.

gravitation et redescendent vers le soleil. Voilà comment la croûte terrestre contient à sa surface des éléments chimiques légers, composés alcalins et gaz divers dont l'oxygène et l'hydrogène qui devaient ultérieurement former l'eau. Jusque là, la gaîne de masses légères entourant à grande distance le protosoleil était lumineuse et éclairait de toutes parts le berceau de la terre naissante, comme les étoiles nouvelles sont entourées de zones nébuleuses : et c'est sans doute cette gaîne de matériaux légers qu'ont heurté les tourbillons planétaires ; et ce choc a produit l'expulsion équatoriale des masses satellitaires.

On voit quelle variété de phénomènes grandioses révèle sur l'origine de la terre, la nouvelle Cosmogonie : elle va s'en servir maintenant pour trouver les lois de l'architecture qui sont l'œuvre du *déluge austral primitif*.

*
* *

II. — La genèse des continents et des mers.

L'architecture profonde des continents et des mers est l'œuvre du déluge austral primitif. — Imaginons le noyau terrestre commençant vers 1100^e à se couvrir d'une croûte solide : il était entouré d'une immense atmosphère contenant à l'état de vapeur toute l'eau qui remplira plus tard les Océans. Si la chute de l'eau avait été isotrope sur toute la surface, la couvrant d'un manteau de 3.000 m. d'épaisseur, comment les continents auraient-ils surgi d'une telle profondeur ? Mais le noyau anhydre, entraînant son atmosphère de vapeurs, étant lancé à travers la nébuleuse dans la direction Nord de son axe ; dès lors le frottement et la pression de la nébuleuse s'exerçait du Nord vers le Sud produisant les effets suivants sur le noyau plastique (voir le schéma *fig. 3*) :

1^o Dépression boréale qui a produit les grands fonds de l'Océan arctique (3.500 m.).

2^o Surrection à l'arrière du projectile terrestre d'une pointe (Antarctide) haute de 3.000 m.

3^o Vide relatif V dans l'atmosphère au-dessus de l'Antarctide.

4^o Descente du Nord vers le Sud des parties hautes de l'atmosphère, c'est-à-dire les plus froides.

5^o Enrayage de la rotation (par frottement de la nébuleuse) plus grand dans l'hémisphère Nord que dans l'autre d'où torsion en forme d'hélices sphériques des soubassements continentaux déviés vers l'Est dans l'hémisphère austral par rapport à l'autre (les deux Amériques,

l'Australie à l'est de la masse de l'Asie, Afrique du Sud à l'Est decelle du Nord).

6° Circulation toroïdale de l'atmosphère, puis de l'eau balayant du Sud au Nord la surface d'abord incandescente et couverte de scories, puis érodée profondément par les torrents océaniques qui transportèrent dans l'hémisphère Nord les matériaux d'érosion, devant former les socles continentaux.

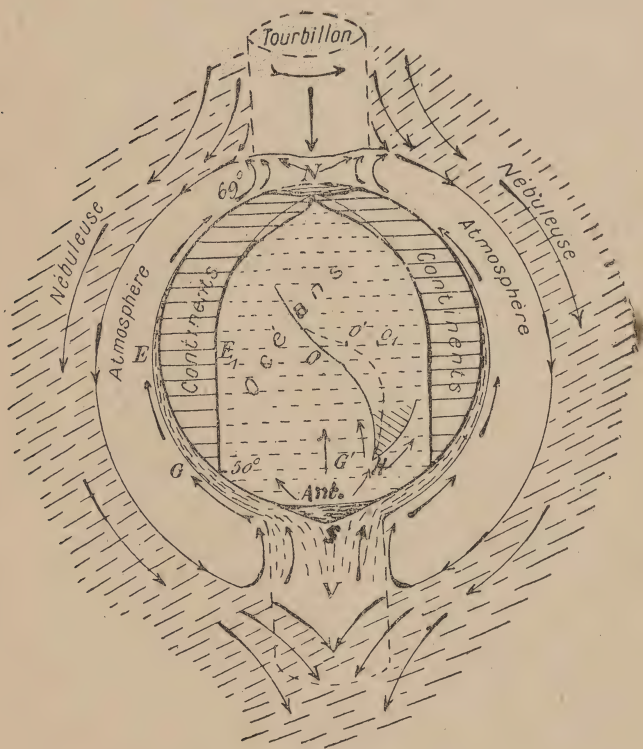


Fig. 3.

Les effets 2, 3, 4, concouraient à faire de l'Antarctide le pôle unique du froid ou du *moins chaud* en sorte qu'à 365° (température critique de l'eau), c'est sur l'Antarctide que tombèrent les cataractes formidables du *premier de tous les déluges* dont les torrents divergeant du Sud vers le Nord sculptèrent la croûte primitive de telle manière que ses matériaux légers portés dans l'hémisphère boréal laissèrent à nu des maté-

riaux de profondeur denses et stables actuellement encore dans les grands fonds des océans.

Les torrents océaniques dans leur course vers le Nord commencent à déposer vers 50° de latitude Sud les masses érodées sous forme de môles tels que H ce qui bifurqua les courants sous forme de V ouverts vers l'Equateur. On comprend maintenant pourquoi les continents et les presqu'îles sont en pointe dirigées vers le Sud, et pourquoi l'hémisphère austral contient beaucoup plus d'eau que l'autre (17 0/0 de surface continentale pour le premier de 40 0/0 pour le second). Le poids du déluge austral primitif fait surgir à ses antipodes à titre de contre-poids auteur du centre de gravité de la Terre une masse égale de matières continentales ; de là la loi des Antipodes : *Tout continent a pour antipode une mer* sauf l'exception de la Patagome qui a surgi au tertiaire.

J'énoncerai seulement les autres lois de l'architecture terrestre que j'ai établies dans des notes à l'Académie des Sciences (comptes rendus, 2 mars et 6 juillet 1914), c'est-à-dire avant la première édition du livre de Wegener, et que j'ai développées dans mon *Origine des formes de la Terre* en 1918. Ces lois ne sont vérifiées qu'au niveau 2.000 m, c'est-à-dire près de la surface du noyau anhydre primitif ainsi qu'il fallait s'y attendre d'après notre théorie :

Lois de l'architecture terrestre au niveau 2.000°. — Dans l'hémisphère austral de 50° Sud à l'Equateur la largeur des Océans mesurée sur les parallèles est constante. (Voir le schéma). Dans l'hémisphère boréal de l'Equateur au détroit de Behring (69° N) la largeur des continents mesurés sur les parallèles est à peu près constante (voir le schéma).

Ces lois se démontrent en supposant pendant la période primitive qu'un régime permanent des courants océaniques Sud-Nord a pu s'établir.

Enfin le déluge austral rend compte du fait inexpliqué et singulier que révèle l'isostasie et qui montre que le niveau d'équilibre isostatique où cesse la différence de densité entre les fonds des Océans et les socles continentaux est d'après Hayford à 96 km. de profondeur. C'est que la masse totale des Océans pour refroidir la croûte terrestre a dû s'évaporer 33 fois : c'est comme si le noyau avait reçu sur toute sa surface une hauteur d'eau de 99 km. bien capable comme on le voit, d'apporter 96 km. de hauteur de masses légères érodées pour former les socles continentaux dont la surface est seulement de 30 0/0 de la surface totale.

La découverte de toutes les lois de l'architecture profonde de la Terre comme conséquence de son mouvement à travers la nébuleuse dans la direction Nord de son axe est une des preuves les plus complètes apportées à l'appui de notre Cosmogonie dualiste ; et le diamètre du tourbillon générateur de la Terre qu'elle fixe à celui du parallèle de 70° est inscrit aussi à la surface du globe puisque c'est la latitude moyenne du bord de l'Antarctide et du bord de l'Océan Arctique.

III. — La mort de la Terre.

L'Astronomie Cosmogonique nous a fait assister à la naissance de la terre. Elle vit depuis sans doute 500 millions d'années pour ne rien exagérer ; mais où en est-elle de son existence et s'avance-t-elle à grands pas vers la mort ?

L'évolution du soleil va nous donner une première réponse à cette question : car la vie de la terre est évidemment liée à celle du soleil. Les belles théories d'évolution stellaire de Russell et d'Eddington nous apprennent que tout soleil naît géant avec un faible éclat qui augmente rapidement, atteint un maximum quand il est dans toute la force de l'âge, puis décline lentement quand il se ramasse sur lui-même et se ratatine en devenant nain et obscur dans sa vieillesse.

Notre soleil a dépassé l'âge où dans toute sa force il rayonnait 3 fois plus qu'aujourd'hui ayant sa surface blanche à 8.000° : il est devenu nain, jaune, ayant sa surface à 6.000° seulement et son rayon 62 fois plus petit qu'à l'époque où, vigoureux, il donnait naissance à sa famille planétaire.

Et cette vieillesse du soleil est bien inquiétante pour la terre : car, sans qu'il se réduise beaucoup en volume, sa surface tombera à 3.000° et alors il rayonnera 16 fois moins de chaleur qu'aujourd'hui. C'est dire que la terre depuis longtemps ne portera plus d'être vivants, roulant glacée dans les solitudes glacées de l'espace, attendant peut-être, comme notre soleil, un réveil cataclysmique de sa chaleur perdue.

Cette mort lente par le froid que prévoit la thermodynamique et que Clausius a indiquée dans son Wärmetod aura obligé l'humanité pendant de longs siècles à quitter les terres où règne la civilisation pour émigrer près de l'équateur d'où les nègres, si sensibles au froid, auront les premiers disparu.

Mais il y a bien d'autres morts lentes que la science moderne peut

prévoir pour la terre et il y a aussi des cas dramatiques de mort violente.

Commençons par les premiers.

Vous savez que, sans être végétarien, tous les hommes, mêmes carnivores, ont besoin de végétaux : car sans herbe il n'y aurait pas d'animaux terrestres ; quelle sont les conditions de l'existence de la végétation ? Une certaine proportion d'acide carbonique dans l'air et un minimum de radiation solaire. Lord Kelvin a montré le premier la possibilité pour le règne animal de mourir faute de végétaux, mais tout récemment M. Maquenne a étudié de plus près la question de la teneur en acide carbonique dans l'air : cette proportion est certainement moindre que dans l'ère carbonifère, elle pourrait donc être en voie d'abaissement. Or si la teneur en acide carbonique descendait aux $\frac{3}{5}$ de ce qu'elle est aujourd'hui, les végétaux ne pourraient plus, d'après certaines expériences, continuer leur assimilation chlorophyllienne. D'autre part, d'après la théorie d'Arrhénius, la diminution de l'acide carbonique dans l'air correspond à un refroidissement de la surface, ce qui diminue encore la puissance de la végétation. Les hommes manqueraient d'aliments comme les animaux et la vie se réfugierait dans la mer, pourvu toutefois que le plankton fût moins difficile que l'herbe pour ses conditions d'assimilation. Mais les hommes ne pourraient rester longtemps ichthyophages : car il faut, pour pêcher le poisson, des bateaux, des filets et au moins des cannes à pêche, et tout cela aurait disparu avec la végétation.

Mais laissons à l'atmosphère sa teneur normale en acide carbonique : il suffit que la radiation solaire diminue un peu notablement pour que la végétation soit frappée de mort. Or le soleil, même sans attendre son refroidissement final inéluctable, pourrait, en s'éloignant du centre de la voie lactée, nous entraîner vers les régions où nous savons qu'il existe des nébuleuses obscures de deux genres certainement, les unes composées de poussières, les autres de gaz très dilués. Qu'un nuage de poussières cosmiques s'interpose entre la terre et le soleil, et les hommes privés de moissons seraient condamnés en peu d'années à la dernière de leurs famines.

Si la nébuleuse rencontrée était gazeuse, d'autres dangers seraient à redouter comme on l'a craint au moment de notre passage dans la queue de la comète de Halley en 1910, la cyanogène d'une nébuleuse homicide pourrait, en se mélangeant à notre atmosphère, se transformer en acide cyanhydrique et asphyxier l'humanité.

Le danger serait d'un autre genre si le gaz rencontré était de l'hy-

drogène. Sans descendre jusqu'à la terre, il pourrait transformer la haute atmosphère en un gaz détonant qui nous détruirait avec tous les êtres vivants dans une immense explosion finale.

Mais la pesanteur seule peut à la longue rendre la terre inhabitable, ainsi que M. Gorceix l'a suggéré. On sait que les montagnes démantelées par les intempéries s'en vont par morceaux portés par les fleuves à la mer qui engloutit aussi les falaises. Si tous les continents d'une hauteur moyenne de 700 mètres étaient ainsi nivelés par la mer, celle-ci monterait de 240 mètres. Toutefois les socles continentaux déchargés du poids montagneux monteraient comme le fait la péninsule scandinave pour satisfaire à l'équilibre isostatique : mais il viendrait toujours un moment où la terre n'aurait plus que des continents précaires envahis par les marées sur de larges aires mobiles et sans doute impropres à la végétation. L'humanité n'aurait plus la possibilité de se sauver de ce déluge universel par la construction de nouvelles arches de Noé.

Passons maintenant aux cas de mort violente de la terre, véritables révolutions du globe que la Science moderne peut prévoir avec plus de précision que Cuvier, il y a un siècle. Comme les satellites de la terre inférieurs à la distance de la lune se sont précipités sur notre planète au cours des âges, de même la lune peut, près s'être rapprochée de la terre, tomber sur elle. La terre augmente de masse par la chute de météorites : cela suffit pour que la lune se rapproche lentement de la terre : mais bien avant qu'un choc direct vienne terminer nos jours, des phénomènes terrifiants rendront la vie impossible sur la terre : dès que la lune sera à une distance 4 fois plus petite que sa distance actuelle, des marées variant de 60 à 600 mètres d'altitude, suivant les localités, vont envahir les parties basses les plus peuplées des continents : si les habitants ont eu le temps de se réfugier dans les montagnes, les marées internes de l'écorce vont ressusciter des volcans éteints, faire vomir des flots de lave aux volcans en activité et obscurcir le ciel par des masses de poussières volcaniques.

Les hommes qui auraient échappé à la furie des flots seront victimes des cendres brûlantes et des nuées ardentes sorties des flancs de la terre.

Les mêmes cataclysmes se produiront si un soleil éteint vient frôler notre système solaire ; mais au lieu de menacer lentement et progressivement l'humanité comme dans le cas où la lune approcherait d'elle, ils fondront sur elle avec une rapidité stupéfiante. On connaît des étoiles naines ayant des vitesses de 500 et allant jusqu'à 1.400 kilom.

par seconde : une telle étoile viendrait de la distance de Jupiter jusqu'à la terre en 8 à 15 jours. Il n'y aurait plus le temps pour l'humanité de chercher à échapper à ce danger foudroyant par la fuite vers les montagnes ou vers l'Equateur. Ce danger serait visible pour un soleil éteint qui ferait naître sur la terre et sur le soleil des marées extraordinaires, et pour un soleil lumineux qui menacerait en outre les êtres vivants de les tuer par un excès de chaleur, de radiations ultraviolettes ou cathodiques.

Il y a près de deux mille ans une voix s'est élevée de l'Orient, la voix d'un savant de l'époque, un médecin : il a prophétisé : « Il y aura des signes dans le soleil, la lune et les étoiles : sur la terre la détresse des nations sera grande à cause du bruit confus de la mer et des flots. Les hommes sècheront de frayeur dans l'attente des maux devant frapper l'Univers : et les puissances des Cieux seront ébranlées ».

Ce tableau ressemble étrangement à celui que je viens de vous tracer en m'appuyant exclusivement sur des données scientifiques.

Je crois quant à moi, que c'est Saint-Luc qui a raison contre Clausius et son « Warmetod » : d'ailleurs quel est l'homme qui préférerait une agonie lente par la famine et par le froid à la mort violente et rapide au milieu des éléments déchaînés ?

S'il m'est permis d'être à mon tour un peu prophète, c'est en assurant qu'aucun d'entre nous n'assistera au cataclysme final où l'on verra les forces de gravitation et de radiation conjurées à la perte de l'humanité.

LA RADIOACTIVITÉ

PAR **M. Jean BECQUEREL,**

Professeur au Muséum.

Examineur des élèves à l'Ecole Polytechnique.

PREMIÈRE PARTIE

Plus de cinq cents ans avant notre ère, quelques philosophes enseignaient que toute substance est formée de particules en continuel mouvement. Cette conception de la *structure discontinue* de la matière a survécu jusqu'à nos jours ; bien plus : elle n'était autrefois qu'une intuition, on sait aujourd'hui que c'est une réalité.

On appelle *corps simple* ou *élément* une substance indécomposable par voie chimique, et *atome* d'un élément la plus petite quantité de matière caractéristique de cet élément. Tous les atomes d'un même élément sont identiques entre eux, mais les atomes des divers éléments sont différents.

Une *molécule* est l'union de plusieurs atomes, soit d'un même élément, soit d'éléments différents : dans le premier cas la molécule est celle de l'élément considéré, dans le second cas c'est la molécule d'une substance dite *corps composé*. Prenons deux exemples : les atomes d'hydrogène se groupent généralement par paires, de sorte que la molécule d'hydrogène contient 2 atomes de cet élément ; la molécule d'eau, plus petite parcelle d'eau qui puisse exister, est l'union de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène.

Les molécules sont excessivement petites et nombreuses. La molécule la plus légère est celle de l'hydrogène ; elle a pour masse 3,20⁻²⁴ gramme, et son diamètre est de l'ordre de grandeur de quelques dix-millionièmes de millimètre.

On a réussi, de bien des manières, à établir que *chaque centimètre cube d'un gaz quelconque, à 0° et sous la pression atmosphérique, contient 28 milliards de milliards de molécules de ce gaz.*

(1) Conférence publique faite à la Sorbonne le 10 février 1923.

Pour plus de détails on peut consulter, du même auteur, *la Radioactivité et les transformations des éléments*, Collection Payot (1924).

Toute réaction chimique consiste en décompositions ou formations de molécules, mais toujours les atomes des éléments qui entrent en jeu se conservent au cours des transformations : un atome garde une individualité propre⁽¹⁾ et au point de vue chimique il mérite son nom, qui signifie insécable.

Une autre idée date aussi des temps les plus reculés : c'est l'hypothèse que toute matière est, en définitive, formée par un principe universel ou par un nombre très restreint de constituants distincts. Cette idée n'est pas incompatible avec la conception atomique, à condition d'admettre que, en dernière analyse, les atomes ne sont pas réellement insécables : ils seraient eux mêmes formés par une union très solide des particules élémentaires des quelques constituants primordiaux. Dans cette hypothèse, on peut songer à *transmuter* les atomes, à produire un élément à partir d'un autre élément. Ce rêve des philosophes, cet espoir des alchimistes a reçu récemment, comme nous le verrons, une première réalisation.

Au début du siècle dernier (1815), Prout a émis l'hypothèse que tous les éléments pouvaient être constitués par la condensation progressive de l'hydrogène, le plus léger des corps. Mais les mesures précises de Stas ont prouvé que les poids des divers atomes ne sont pas *rigoureusement* des multiples entiers du poids de l'atome d'hydrogène, et cela a paru incompatible avec l'idée de Prout, à cause du principe de la conservation de la masse : de quelle perte ou de quel gain de masse proviendraient les écarts ? L'hypothèse de Prout fut donc abandonnée, à tort comme nous le montrerons. D'autre part, devant le fait de la conservation des atomes à travers toutes les transformations, on avait finalement admis que les atomes étaient des « articles tout faits », que les éléments étaient immuables.

Ainsi, il y a trente ans, on croyait à la stabilité des éléments. En accord avec ce dogme et avec le principe de la conservation de l'énergie, on était convaincu que la matière ne pouvait d'elle même dégager de l'énergie, c'est-à-dire qu'une émission d'énergie ne pouvait être spontanée.

Ces conceptions ont été anéanties par une admirable découverte qui a révolutionné la Science en portant un coup mortel au dogme de l'invariabilité de l'atome.

(1) A part une modification dont nous parlerons plus loin, la transformation d'un atome électriquement neutre en atome-ion.

Le 1^{er} mars 1896, Henri Becquerel a découvert la radioactivité (1).

Je dois ajouter que, dans ses recherches sur ce nouveau phénomène, mon père a eu un collaborateur : il se plaisait à dire que M. Louis Matout était son « bras droit ». Je tiens à rendre hommage à l'habileté expérimentale de M. Matout et à la contribution qu'il a apportée aux progrès de la Science.

* * *

A la séance de l'Académie des Sciences où Henri Poincaré présentait les premières radiographies de Röntgen (20 janvier 1896), Henri Becquerel demanda à son confrère quelle était exactement, dans l'ampoule productrice des rayons X, la région d'émission de ces rayons ; il lui fut répondu que le rayonnement émanait de la partie de la paroi de verre frappée par les rayons cathodiques (2). Henri Becquerel fit remarquer à Poincaré que, dans cette région, le verre était rendu fluorescent par les rayons cathodiques, et les deux savants furent immédiatement d'avis qu'il fallait chercher si d'autres corps que le verre, rendus fluorescents ou phosphorescents, cette fois par exposition à la lumière, n'émettraient pas un rayonnement analogue aux rayons Röntgen (3). Henri Becquerel entreprit aussitôt les recherches.

Parmi les nombreuses substances phosphorescentes, son choix se porta sur les sels d'uranyle non pas par hasard, mais pour les raisons suivantes. Ces sels forment une classe à part parmi les corps phosphorescents : leurs spectres de phosphorescence et d'absorption, qui avaient fait l'objet de nombreux travaux d'Edmond Becquerel et de lui-même, présentent une constitution remarquablement simple qui ne se rencontre pas chez les autres substances et qui attire l'attention sur eux ; de plus, alors que les autres substances rendues phosphorescentes par la lumière doivent cette propriété à la présence de matières étrangères, la phosphorescence des sels d'uranyle est une

(1) Cette dénomination n'a été donnée que plus tard, par Curie et Mme Curie.

(2) Aujourd'hui on ne laisse plus les rayons cathodiques atteindre la paroi de verre ; on place devant la cathode une lame de tungstène, appelée anti-cathode, qui est bombardée par les rayons cathodiques et devient la source des rayons X.

(3) Cette remarque s'imposait d'une façon tellement frappante que Poincaré la publia quelques jours plus tard dans la *Revue générale des Sciences*.

qualité qui leur appartient en propre, sans intervention d'un métal étranger. Existe-t-il réellement une relation entre la radioactivité de l'uranium et ces propriétés des sels uraniques ? on l'ignore encore ; toujours est-il que le choix de ces substances a été inspiré par des travaux antérieurs ; aussi Henri Becquerel, dans sa modestie, aimait-il à reporter une part du mérite de sa découverte sur son grand-père et sur son père : il disait que les travaux qui depuis une cinquantaine d'années s'étaient succédé dans ce même laboratoire du Muséum formaient une chaîne qui devait nécessairement aboutir à la radioactivité.

A l'intérieur d'un châssis, constitué par une enveloppe de papier noir recouverte d'une plaque d'aluminium de 2mm. d'épaisseur, Henri Becquerel introduisit une plaque photographique, la couche sensible tournée vers l'aluminium, puis ferma le châssis de manière à le rendre opaque à la lumière, et enfin posa sur l'aluminium quelques lamelles de sulfate double d'uranium et de potassium. Croyant d'abord qu'une excitation par la lumière, nécessaire pour provoquer la phosphorescence, était également nécessaire pour donner naissance au rayonnement qu'il cherchait, il exposa le dispositif aux rayons du soleil pendant une journée. Le développement de la plaque donna des taches peu intenses reproduisant la forme des lamelles phosphorescentes. L'expérience, renouvelée plusieurs fois, donna toujours le même résultat : le sel d'uranium était donc la source d'un rayonnement traversant le papier noir et l'aluminium. C'était le phénomène cherché.

Mais ce n'était pas encore la grande découverte, car jusqu'alors Henri Becquerel croyait à un phénomène de phosphorescence dû à une lumière invisible, dont l'émission serait provoquée par la lumière excitatrice du Soleil. Un dispositif semblable ayant été préparé une fois de plus, le ciel se trouva couvert ; Henri Becquerel, attendant une lumière plus favorable, enferma dans un tiroir le châssis contenant la plaque et recouvert des lamelles de sel d'uranium. Le soleil ne se montra que trois jours plus tard. Au moment où Henri Becquerel allait exposer le châssis au soleil, il pensa qu'une action s'était peut-être produite malgré l'obscurité du tiroir ; il développa donc la plaque qui était restée pendant plus longtemps que les précédentes dans le châssis sous les lamelles du sel d'uranium.

Fait remarquable, une impression intense s'est manifestée. On voit sur l'épreuve la forme des lamelles ainsi que la radiographie d'une croix de cuivre mince placée entre une lamelle et l'enveloppe d'aluminium.

Ainsi, l'émission du nouveau rayonnement s'était produite à l'abri de toute radiation excitatrice connue. Cette émission était *spontanée*, paraissant défier le principe de la conservation de l'énergie. La radio-activité était découverte. Henri Becquerel répéta l'expérience avec tous les composés d'uranium, *phosphorescents ou non* ; toujours l'émission des nouveaux rayons fut constatée. Les impressions obtenues dans des conditions identiques furent d'autant plus intenses que la teneur en uranium du composé employé était plus grande : alors le *métal uranium* devait donner une action plus forte que ses sels : c'est bien ce qui fut constaté (1). *La propriété nouvelle appartient en propre à l'atome du corps radioactif* et ne dépend aucunement de son état de combinaison, alors que toutes les autres propriétés changent d'un composé à un autre.

Une question capitale était celle de l'origine de l'énergie émise. La spontanéité du rayonnement n'était pas encore prouvée, car il était naturel de penser que l'uranium et ses sels, avant d'être mis dans l'obscurité, avaient absorbé une grande quantité d'énergie lumineuse, puis transformaient cette énergie en la restituant lentement sous la forme des nouveaux rayons, sans affaiblissement appréciable pendant plusieurs jours. Henri Becquerel plaça plusieurs composés d'uranium dans une boîte en plomb épais, enfermée elle-même dans une seconde boîte en plomb ; le dispositif permettait de changer les plaques photographiques sans toucher aux substances actives. Les épreuves obtenues pendant sept ans ont prouvé que la protection par le plomb ne diminue en rien l'intensité des effets, et que l'activité reste constante. Deux hypothèses, toutes deux encore discutées aujourd'hui, se présentent : ou bien l'uranium arrête et absorbe une radiation inconnue, qui serait capable de traverser sans affaiblissement appréciable plusieurs centimètres de plomb, ou bien l'énergie émise provient en totalité de l'atome lui-même et s'il en est ainsi l'émission est spontanée, non pas seulement en apparence, mais en réalité.

Dès le début de ces recherches (2), Henri Becquerel a observé et étudié l'effet le plus important : les rayons uraniques provoquent dans l'air ou dans un gaz quelconque, la décharge des corps électrisés, propriété qui était déjà connue pour les rayons Röntgen.

On dit aujourd'hui que les rayons Becquerel (comme les rayons X,

(1) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, 18 mai 1896.

(2) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, 9 mars, 23 mars, 30 mars, 23 novembre 1896;
1^{er} mars, 12 avril 1897.

la lumière ultra-violette et d'autres causes encore) *ionisent* les gaz. Le mécanisme de ce phénomène a été élucidé plus tard par les travaux de divers physiciens : bien que nous n'ayons pas encore parlé de *l'électron*, corpuscule chargé d'électricité négative qui est un constituant de toute matière, nous pouvons dire que sous diverses influences un certain nombre de molécules d'un gaz sont divisées en deux morceaux, un électron et une partie chargée positivement, de charges égales mais opposées, qui tous deux s'entourent de quelques molécules. Le gaz contient alors des centres mobiles, chargés d'électricité, qu'on appelle des *ions*.

Les ions de charges contraires se recombinent entre eux, mais lorsque la cause d'ionisation persiste, il se forme sans cesse de nouveaux ions ; si la cause d'ionisation est constante, un équilibre s'établit entre la formation et la recombinaison des ions, de sorte qu'en moyenne le nombre des ions par unité de volume reste constant.

Quand on amène un gaz ionisé entre deux plateaux électrisés l'un positivement, l'autre négativement (c'est-à-dire entre lesquels règne un champ électrique), il se produit un courant électrique dû au fait que les ions d'un signe se dirigent vers celui des plateaux dont la charge est de signe contraire. Supposons que la cause d'ionisation reste constante et qu'on augmente progressivement l'intensité du champ électrique entre les deux plateaux : l'expérience prouve que le courant tend vers une limite appelée *courant de saturation* (1).

Tout corps électrisé placé dans un gaz ionisé se décharge parce qu'il attire et recueille les ions dont la charge est contraire à la sienne : c'est l'explication de la décharge des corps électrisés au voisinage de l'uranium dont le rayonnement ionise l'air.

En plus de la méthode photographique, qui ne donne guère que des résultats qualitatifs, Henri Becquerel a donc trouvé une méthode électrique, et celle-ci donne des *résultats quantitatifs*, car elle se prête à des mesures précises. C'est, sous une forme ou sous une autre, la méthode employée pour la mesure de l'activité ; *c'est elle qui a permis la découverte de nouveaux corps radioactifs*. Henri Becquerel employait l'électroscope et l'électromètre à quadrants ; plus tard quelques perfec-

(1) Cependant, si l'on continue à augmenter l'intensité du champ électrique, il vient un moment où les ions prennent des vitesses suffisantes pour provoquer eux-mêmes une ionisation supplémentaire ; l'effet s'accroît rapidement et finalement la décharge disruptive (étincelle) se produit.

tionnements ont été apportés à la méthode électrique, mais il convient cependant de ne pas oublier — comme on le fait trop souvent — à qui on la doit.

A l'aide d'un électroscope sensible, Henri Becquerel a confirmé le fait, déjà observé par la méthode photographique, que *l'activité de l'uranium est une propriété atomique indépendante de l'état de combinaison chimique de cet élément* (1).

De plus, il a été conduit à observer les caractères principaux du phénomène qui a été appelé plus tard « ionisation » (2); c'est même lui qui, à cette occasion, a observé pour la première fois l'existence du courant de saturation (3). Parmi ses nombreuses expériences, on peut citer la suivante, qui met en évidence le rôle des gaz ambiants dans le phénomène de la décharge des corps électrisés : dans un tube aboutissant près de la boule de l'électroscope on place, suffisamment loin de l'appareil, un composé d'uranium. La déperdition est lente, mais si par un courant d'air on amène sur la boule l'air qui est passé sur la substance, la décharge de l'électroscope devient beaucoup plus rapide et elle croît avec la vitesse du courant d'air. L'air est donc le siège du

(1) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, 18 mai 1896. — Il est utile d'insister sur la priorité d'Henri Becquerel dans la découverte de la méthode électrique et du fait que l'activité est une propriété atomique, car il y a une tendance singulière, chez de nombreux auteurs, à attribuer ces découvertes à M. et à Mme Curie. Curie lui-même, dans sa loyauté, avait à plusieurs reprises rectifié cette erreur.

Comme exemple typique de cet esprit qui tend à frustrer Henri Becquerel de la propriété de ses découvertes, je citerai par exemple la phrase suivante, qui fait croire, sous l'autorité d'un maître, que Curie et Mme Curie ont découvert la radioactivité : « La Chimie moderne devrait au spectroscope ses plus belles découvertes, si P. Curie et Mme Curie n'avaient trouvé dans la radioactivité un mode d'investigation de la matière, moins général peut-être, mais incomparablement plus sensible dans certains cas ». (G. URBAIN ; *Introduction à l'étude de la spectrochimie*, 1911, préf., p. 3).

(2) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, 23 nov. 1896, 1^{er} mars et 12 avril 1897.

(3) *C. R.*, 12 avril 1897. — On peut graduer l'électroscope de manière à mesurer le débit d'électricité par unité de temps, c'est-à-dire le courant de décharge. Henri Becquerel a constaté que, pour de faibles charges de l'électroscope, le courant est à peu près proportionnel au potentiel de la tige de l'électroscope, mais que lorsque le potentiel dépasse une certaine valeur le courant n'augmente plus. C'est bien ce que trois ans plus tard, M. Rutherford a appelé courant de saturation.

phénomène qui provoque la déperdition de la charge de l'électroscope (le courant d'air amène les gaz qui ont été ionisés).

Enfin Henri Becquerel a constaté que de larges variations de température (de 80° à — 190° ne modifient pas l'intensité du rayonnement.

Il y avait donc désormais deux faits essentiels acquis : l'existence du phénomène radioactif et le moyen d'en donner une mesure grâce à la méthode électrique d'Henri Becquerel. Ce fut l'origine des recherches qui amenèrent la découverte de nouveaux corps radioactifs.

*
* * *

Il était, en effet, bien probable que l'uranium n'était pas le seul élément jouissant de la propriété d'émettre un rayonnement spontané. Armés de la méthode d'Henri Becquerel, méthode qu'ils ont améliorée (1), Pierre Curie et Mme Curie, entreprirent des recherches systématiques et M. Lacroix mit à leur disposition divers minéraux de la collection du Muséum. En 1898, deux ans après la découverte d'Henri Becquerel, M. Schmidt, puis Mme Curie constatèrent (2), indépendamment l'un de l'autre, que le thorium émet des rayons Becquerel, avec une activité sensiblement la même que celle de l'uranium. Curie et Mme Curie étudièrent l'activité d'un grand nombre de minéraux contenant de l'uranium ou du thorium et observèrent que certains sont jusqu'à quatre fois plus actifs que l'uranium métallique.

Or, *Henri Becquerel avait démontré que la radioactivité de l'uranium est une propriété atomique* (3); aucun corps tenant ses propriétés radioactives de l'uranium ne devait donc être plus actif que l'uranium métallique; une conclusion s'imposait : les substances plus actives que l'uranium (ou que le thorium) devaient contenir des éléments radioactifs inconnus. Cette manière de voir était confirmée par le fait que la chalcolite naturelle a une activité plus que double de celle de l'uranium, alors que la chalcolite artificielle (préparée par voie chimique) possède une acti-

(1) Les courants de saturation produits dans une même chambre d'ionisation (espace compris entre 2 plateaux métalliques portés à des potentiels différents) étaient pris pour mesures relatives des activités des différentes substances. Curie et Mme Curie firent usage des propriétés, antérieurement découvertes par Curie, du quartz piézo-électrique.

(2) M. SCHMIT : *Verh. Phys. Ges.*, 14 février 1898. — Mme CURIE : *C. R.*, 12 avril 1898.

(3) *C. R.*, 18 mai 1896. *Vérification* par Mme Curie, *C. R.*, 12 avril 1898.

tivité normale, c'est-à-dire correspondant exactement à sa teneur en uranium (Mme Curie).

Pendant que Curie et Mme Curie entreprenaient la recherche de ces éléments encore hypothétiques, Henri Becquerel suivait une voie différente : il continuait l'étude des propriétés physiques des nouveaux rayons.

Il s'agissait donc d'isoler les corps dont on soupçonnait l'existence. Parmi les substances qui devaient contenir de nouveaux éléments, la plus abondante était la pechblende. M. Bémont apporta l'appui de sa haute expérience pour la séparation chimique des éléments contenus dans ce minerai ; au fur et à mesure des séparations chimiques. Curie et Mme Curie soumettaient les produits à l'épreuve de l'électromètre.

De la pechblende furent extraites d'abord deux substances très actives : l'une, accompagnant le bismuth, à laquelle Mme Curie, en l'honneur de son pays natal, donna le nom de *polonium* ; l'autre, accompagnant le baryum, fut baptisée *radium* : selon les termes employés par Pierre Curie (1), « Mme Curie a pris une très grande part » à cette dernière découverte.

Puis, en 1899, M. Debierne découvrit, toujours dans la pechblende, un troisième corps, *l'actinium*, dont les sels n'ont pas encore été obtenus à l'état de pureté. L'actinium pur aurait une activité considérablement plus grande que celle du radium (2).

Enfin, le nombre des corps radioactifs connus aujourd'hui s'élève à trente-neuf : nous en donnerons tout à l'heure une vue d'ensemble.

On a beaucoup parlé, dans ces derniers temps surtout, du radium, et l'on a tellement concentré sur lui l'attention que, pour la plupart des personnes, radium et radioactivité c'est tout un, que la radioactivité est la propriété « du radium » d'émettre un rayonnement. Quelle étrange confusion ! *La radioactivité est une propriété de la matière, le radium n'est qu'un des nombreux éléments radioactifs et il existe un grand nombre de corps beaucoup plus actifs que lui ; par exemple : à masses égales, ce « radon » est 200.000 fois plus actif, le « thorium C' » dix trillions de milliards de fois plus actif que le radium... ; seulement on n'obtient les corps prodigieusement actifs qu'en quantité extrêmement faible,*

(1) P. Curie : Conférence à Londres, Royal Institution of Great Britain, 19 juin 1903, page 13.

(2) Le métal radium a été obtenu en 1910 par M. Curie et M. Debierne. C'est un métal blanc, brillant, très altérable à l'air. Il décompose l'eau. Il appartient à la famille des alcalino-terreux.

et même certains d'entre eux (par exemple le thorium C') ne sont connus que par leur rayonnement et ne sauraient être obtenus en quantité visible, ce qui se comprend car une grande activité est la manifestation d'une évolution rapide, c'est-à-dire d'une vie courte (la vie moyenne de l'atome du thorium C' est de l'ordre du cent milliardième de seconde). Le radium tient un juste milieu, et c'est ce qui fait tout son intérêt pratique et industriel : il est suffisamment actif pour s'être prêté à des applications ; il est en même temps assez peu actif pour exister en quantité appréciable (2 à 3 décigr. par tonne de pechblende) et pour se conserver sans perte sensible (la moitié d'une quantité donnée de radium n'est transformée en d'autres substances qu'au bout de 1750 ans).

*
* *

La découverte de corps beaucoup plus actifs que l'uranium a considérablement facilité l'étude des propriétés du rayonnement. Je ne puis insister ici sur les premières expériences par lesquelles Henri Becquerel et Sir Ernest Rutherford ont reconnu que le rayonnement est hétérogène, qu'il existe des rayons pénétrants et des rayons très absorbables. Je me bornerai à indiquer la meilleure méthode d'analyse du rayonnement : l'action d'un champ magnétique et celle d'un champ électrique.

Plaçons dans une rainure profonde entaillée dans un petit bloc de plomb quelques fragments de matière très radioactive, et disposons une plaque photographique normale à la rainure. Nous obtenons sur la plaque la trace rectiligne d'un pinceau assez étroit. Portons maintenant le dispositif entre les pôles d'un aimant, en orientant la rainure parallèlement aux lignes de forces magnétiques : une partie du faisceau est considérablement déviée.

Une analyse détaillée montre que le rayonnement est formé de trois espèces de rayons ; les rayons β très déviés par un champ magnétique, les rayons α très peu déviés en sens opposé des premiers, et les rayons γ non déviés. Un champ électrique dévie aussi les rayons α et β dans des sens opposés, et n'agit pas sur les rayons γ .

On a d'ailleurs établi que, sauf de rares exceptions, un élément radioactif émet soit des rayons α , soit des rayons β , et que les rayons γ accompagnent les rayons. Une substance qui donne à la fois des rayons α , β et γ contient en général plusieurs éléments.

Par l'étude des déviations dans un champ magnétique et dans un champ électrique, Henri Becquerel a établi que les rayons β sont for-

més par un flux de corpuscules chargés d'électricité négative, identiques à ceux qui constituent les rayons cathodiques (rayons émanés du pôle négatif lorsqu'on fait passer des décharges électriques dans les gaz très raréfiés). D'autre part, Curie et Mme Curie ont démontré directement, par une remarquable expérience, que les rayons β transportent des charges négatives. Le corpuscule, qui se retrouve dans de nombreux phénomènes, est un constituant universel de tous les corps : les théories actuelles le considèrent comme une pure charge électrique (dont la valeur est $4,77 \cdot 10^{-10}$ unité C. G. S. électrostatique); c'est la plus petite charge qui existe, l'atome d'électricité, et on l'a appelée *électron*. Ce corpuscule ou électron a une masse égale à $0,899 \cdot 10^{-27}$ gr., 1850 fois plus petite que celle du plus léger des atomes matériels, l'atome d'hydrogène.

Les électrons qui s'échappent des corps radioactifs sont animés d'une vitesse colossale, atteignant pour certains d'entre eux 297.000 kilomètres par seconde, vitesse voisine de la vitesse de la lumière (300.000 km./sec.) (1). Ces électrons rapides constituent des rayons très pénétrants; ils traversent le verre des ampoules.

Je ne puis m'étendre ici sur les résultats remarquables auxquels a conduit l'étude des rayons β . Je dirai seulement que les expériences de M. Bücherer ont permis de vérifier que la masse de l'électron croît avec la vitesse suivant la loi prévue par la théorie de la relativité. La valeur indiquée plus haut est la « masse au repos » de l'électron.

Les particules dont les trajectoires constituent les rayons α sont, quel que soit le corps radioactif qui les émet, des ions d'hélium, atomes de l'élément hélium ayant perdu deux électrons et par suite possédant une charge positive égale au signe près au double de la charge d'un électron. Voici comment on a pu établir la nature des particules α .

En 1894, Sir William Ramsay a isolé parmi les gaz dégagés de la clévéite (minerai d'uranium) un élément jusqu'alors inconnu sur la terre, mais qui avait déjà reçu le nom d'hélium ($\eta\lambda\iota\omicron\varsigma$, soleil) parce qu'il avait été découvert dans le soleil par Sir Norman Lockyer à l'aide de l'analyse spectrale.

Après la découverte de la radioactivité, on ne tarda pas à reconnaître que l'hélium se rencontre toujours dans les minerais radioactifs. MM. Rutherford et Soddy eurent l'idée qu'il était un produit de trans-

(1) La vitesse de la lumière est une vitesse limite, qu'aucune portion de matière ni aucun signal ne peuvent dépasser (théorie d'Einstein).

formation des substances radioactives, et Sir Rutherford eut même l'intuition que les particules α devaient être des ions d'hélium.

Effectivement, la production d'hélium par divers corps émettant des rayons α a été constatée, et la preuve directe que l'hélium provient des particules α a été donnée par MM. Rutherford et Royds (1909). Une petite quantité d'un corps gazeux très radioactif, dont nous parlerons bientôt, le radon, fut enfermée dans un petit tube de verre à parois très minces (0 mm., 01 au plus) *bien qu'imperméables aux gaz*. Ce tube fut placé dans un autre tube de verre ; après plusieurs jours, on constata la présence de l'hélium dans le tube extérieur ; cet hélium ne pouvait provenir que des particules α qui, grâce à leur grande vitesse, avaient traversé la mince paroi de verre.

D'autre part, les mesures des déviations des rayons α dans un champ magnétique et dans un champ électrique permettent de calculer le rapport entre la charge électrique et la masse d'une particule. La valeur trouvée correspond à l'ion d'hélium porteur de deux charges élémentaires, mais, pour avoir la preuve (1), il faut mesurer directement la charge d'une particule. On y est parvenu par le dénombrement des particules α ; à cet effet, M. Regener a utilisé le spinthariscopes de Crookes : si l'on reçoit des particules α sur un écran phosphorescent, l'arrivée de chaque particule est marquée par un éclat lumineux visible au microscope. On conçoit qu'en employant un grain minuscule de matière radioactive, placé suffisamment loin de l'écran, et ne recevant que celles des particules qui ont traversé un diaphragme, le nombre des scintillations soit assez petit pour pouvoir être compté. On en déduit facilement le nombre total de particules émises par seconde dans toutes les directions.

Au lieu de recevoir les particules sur un écran, on peut, comme l'ont fait MM. Rutherford et Geiger, les faire pénétrer dans une chambre d'ionisation où le courant produit par les nombreux ions auxquels une seule particule donne naissance peut être assez amplifié pour être révélé à l'électromètre.

Connaissant le nombre total n de particules émises pendant un temps déterminé par une certaine quantité de matière radioactive, il suffit maintenant de mesurer la charge totale q recueillie dans un cylindre de Faraday pendant le même temps pour avoir la charge q/n

(1) Le même rapport entre la charge et la masse serait donné aussi par la molécule d'hydrogène portant une seule charge élémentaire : d'où la nécessité de connaître la charge de la particule α .

d'une seule particule. On trouve bien le double de la charge élémentaire.

Un gramme de radium (non privé de ses produits de transformation) émet par seconde 136 milliards de particules α . Ce chiffre est en plein accord avec la quantité d'hélium formée (156 mm³ par an) qui a été mesurée directement.

Il est donc absolument démontré que les particules α sont des ions d'hélium.

Il a été établi que tout élément radioactif qui émet des particules α lance ces particules avec une vitesse initiale bien déterminée. La vitesse des particules diminue à mesure qu'elles ionisent l'air et, au delà d'une certaine distance appelée *parcours*, le pouvoir ionisant, l'action photographique, l'excitation de la phosphorescence disparaissent simultanément. La vitesse initiale ainsi que le parcours sont caractéristiques de chaque élément radioactif. Le maximum de vitesse, 22.000 km./sec. et en même temps le maximum de parcours (8 cm. 6 dans l'air) ont lieu pour les particules α d'un corps appelé thorium C'.

Les rayons γ , découverts en 1909 par M. Villard, ne sont émis que par les substances qui donnent des rayons β , et les plus pénétrants accompagnent l'émission des particules β les plus rapides. De même que les rayons X prennent naissance lors de l'arrêt des électrons contre un obstacle, de même les rayons γ paraissent avoir leur origine dans la perturbation produite par l'expulsion soudaine d'un électron.

Il est prouvé aujourd'hui que les rayons γ sont des rayons X extrêmement pénétrants ; ils sont donc, non pas de nature corpusculaire comme les rayons β ou α , mais de nature lumineuse ; ce sont des ondes électromagnétiques dont les longueurs d'onde sont beaucoup plus courtes que celles des rayons X de l'ampoule Coolidge. Il existe des rayons γ qui traversent plus de 20 cm. de plomb.

Ce sont les rayons γ qu'on utilise dans les applications médicales.

A la fin de l'année 1899 et au début de l'année 1900, deux découvertes sont venues jeter un peu de lumière au milieu des idées que les nouveaux phénomènes avaient suggérées.

Pierre Curie et Mme Curie ont découvert que n'importe quel objet qui a séjourné pendant quelque temps dans une enceinte fermée contenant un sel de radium est lui-même devenu radioactif. Mais cette *radioactivité induite* est temporaire.

D'autre part, Sir Rutherford a découvert qu'un courant gazeux pas-

sant sur des sels de thorium entraîne une *émanation* gazeuse, éphémère, dont la présence provoque sur les objets une radioactivité induite. De plus, tout corps chargé négativement s'active, par radioactivité induite, plus énergiquement que les corps non chargés, ce qui permet de concentrer l'activité sur un fil fin ou sur une lame.

Peu de temps après, M. Dorn découvrit l'émanation du radium qui est la cause de la radioactivité induite découverte par Curie et Mme Curie.

Enfin l'actinium donne aussi une émanation.

La nature matérielle des émanations du radium, du thorium, de l'actinium a été démontrée : ce sont trois gaz, de propriétés identiques, qu'on appelle aujourd'hui *radon*, *thoron*, *actinon* ; ils appartiennent à la famille de l'argon. Ces gaz se condensent à basse température. On a pu recueillir en quantité visible le radon, moins éphémère que les deux autres.

Le radon extrait de sels contenant 4 gr de l'élément radium occupe un volume de 0,6 mm³ (dans les conditions ordinaires de température et de pression).

Fait remarquable : *le radium privé de son émanation n'émet plus ni rayons β ni rayons γ , et l'activité de son rayonnement α est tombé au dessous du quart de sa valeur primitive.* Mais un sel de radium, abandonné à lui-même, reprend progressivement, en un mois environ, l'activité perdue, en même temps qu'il reprend la faculté de céder de l'émanation. Ces faits montrent nettement que le radium engendre le radon.

La majeure partie de l'activité primitive du sel étant concentrée dans la faible quantité d'émanation qu'on peut en extraire, on voit que l'activité de l'émanation est énorme. Nous avons déjà dit qu'à poids égal, le radon est environ 200.000 fois plus actif que le radium.

Sir Rutherford a établi que la radioactivité induite, qui se produit en présence des émanations, est due non à ces émanations elles-mêmes, mais à un dépôt solide provenant de la transformation des émanations. En frottant avec une peau un fil activé, on enlève la matière active, et si l'on brûle la peau, le corps actif se retrouve dans les cendres.

Ainsi les émanations se transforment en d'autres produits radioactifs ; ce n'est pas là un fait isolé : chaque émanation provient elle-même d'une substance mère, et le produit solide auquel elle donne naissance se transforme lui-même.

D'une façon générale, *toute forme temporaire de radioactivité caractérise un élément éphémère*, qui disparaît en même temps que la propriété radioactive constatée.

La loi des transformations a été découverte par Sir Rutherford. Soit, par exemple, un gaz contenant une quantité déterminée de thoron. L'expérience prouve que l'activité tombe à la moitié de sa valeur initiale au bout de 54 secondes, au quart au bout de $2 \times 54 = 108$ sec., au huitième au bout de $3 \times 54 = 162$ sec., etc. L'activité décroît donc, en fonction du temps, suivant la loi dite « exponentielle ». Cette loi est générale, seulement le temps au bout duquel l'activité est réduite à la moitié de sa valeur primitive dépend de l'élément radioactif considéré : par exemple, ce temps est 3,85 jours pour le radon, 3,9 secondes pour l'actinon.

Une remarque fondamentale est la suivante : *la transformation d'un corps radioactif ne porte pas sur tous les atomes à la fois* ; il ne s'agit pas d'un changement progressif apparent du corps ; lorsqu'une substance se transforme, il reste toujours de la même substance, mais il en reste de moins en moins ; bien entendu ce ne sont pas les atomes qui restent, mais seulement ceux qui explosent, qui sont sources du rayonnement : ainsi à chaque instant il y a des atomes qui se transforment, mais les autres sont restés inaltérés, ils se transformeront plus tard.

La loi exponentielle des transformations peut encore s'exprimer comme il suit :

L'activité d'une certaine quantité de matière contenant un seul élément radioactif est proportionnelle au nombre d'atomes de cet élément présents dans cette quantité de matière. Le pourcentage des atomes qui se transforment pendant l'unité de temps (en émettant chacun une particule α ou β) est une constante appelée *constante radioactive* ; son inverse est la *vie moyenne* de l'atome.

Enfin le temps nécessaire pour que la moitié d'une quantité donnée d'un élément soit transformée (54 sec. dans le cas du thoron, 3,85 jours pour le radon...) se nomme la *période* de cet élément. On démontre aisément que la période est égale à la vie moyenne multipliée par 0,693 (Log. 2).

La période (ou la vie moyenne) caractérise un élément radioactif.

DEUXIÈME PARTIE

Les faits qui viennent d'être résumés ont conduit MM. Rutherford et Soddy à la géniale théorie de l'évolution radioactive, théorie qu'on doit aujourd'hui considérer, non plus comme une hypothèse, mais comme l'expression de la réalité.

Nous ne pouvons pas entrer ici dans le détail des expériences et des

méthodes par lesquelles Sir Rutherford, Pierre Curie et d'autres physiciens ont mis en évidence les transformations successives. Nous dirons seulement que si l'on part des émanations radioactives, les preuves de l'existence de divers éléments plus ou moins éphémères, leur ordre de succession et la détermination assez précise de leurs périodes résultent de l'étude des rayons α , β , γ et de la discussion des lois plus ou moins complexes suivant lesquelles décroît l'activité des dépôts actifs. On a utilisé aussi le fait que chaque « parcours » de particules α caractérise un élément particulier, et une loi reliant le parcours et la période : c'est cette loi qui a permis d'estimer les périodes des corps très éphémères.

Lorsqu'un corps est maintenu en présence de tous les produits successifs de sa désintégration, il s'établit au bout d'un temps suffisamment long un état qu'on appelle *l'équilibre radioactif* ; c'est l'équilibre entre la destruction et la formation de chacun des éléments ; leurs proportions demeurent invariables et pour chaque produit, *le nombre d'atomes présents est proportionnel à la période* (1). Enfin, dans l'état d'équilibre, tous les corps en présence donnant des rayons α émettent le même nombre de particules (c'est à-dire produisent la même quantité d'hélium) dans le même temps.

Dans les minéraux très anciens, il y a une proportion constante entre l'uranium et le radium (0,34 gr. de radium pour 1 tonne d'uranium) ; on doit en conclure que le radium est l'un des produits de la désintégration de l'uranium (2). La production de radium par l'uranium a d'ailleurs été directement constatée par M. Soddy. Les termes intermédiaires paraissent tous connus aujourd'hui. L'actinium aussi a été rattaché à la famille de l'uranium.

Le tableau I résume nos connaissances sur les corps radioactifs et donne leur ordre de filiation. Les durées indiquées sont les périodes, qu'il faut diviser par 0,693 pour avoir les vies moyennes.

Une *transmutation* d'atome par expulsion d'une particule β ne change pas le poids atomique ; une *désintégration* par émission α abaisse le poids atomique de 4 unités, puisque le poids atomique de l'hélium est 4.

Si l'on met à part le potassium et le rubidium (très faiblement

(1) Aussi les corps très radioactifs n'existent-ils qu'en quantité extraordinairement faible ; ils sont impossibles à déceler autrement que par le rayonnement qui les caractérise.

(2) Rutherford et Soddy ; Bolwood : Mc Coy ; Strutt.

radioactifs (1), les corps radioactifs se rangent en deux grandes familles qui ont pour chefs l'uranium d'une part, le thorium d'autre part.

On est frappé par l'extrême diversité des périodes, depuis des milliards d'années (Ur. : Th.) jusqu'au cent milliardième de seconde (Th. C'). Les périodes extrêmement longues de l'uranium et du thorium ont été calculées d'après le dénombrement des particules α qu'ils émettent, et aussi, pour l'uranium, en appliquant la loi de l'équilibre radioactif, d'après la proportion constante entre l'uranium et le radium et la période connue du radium.

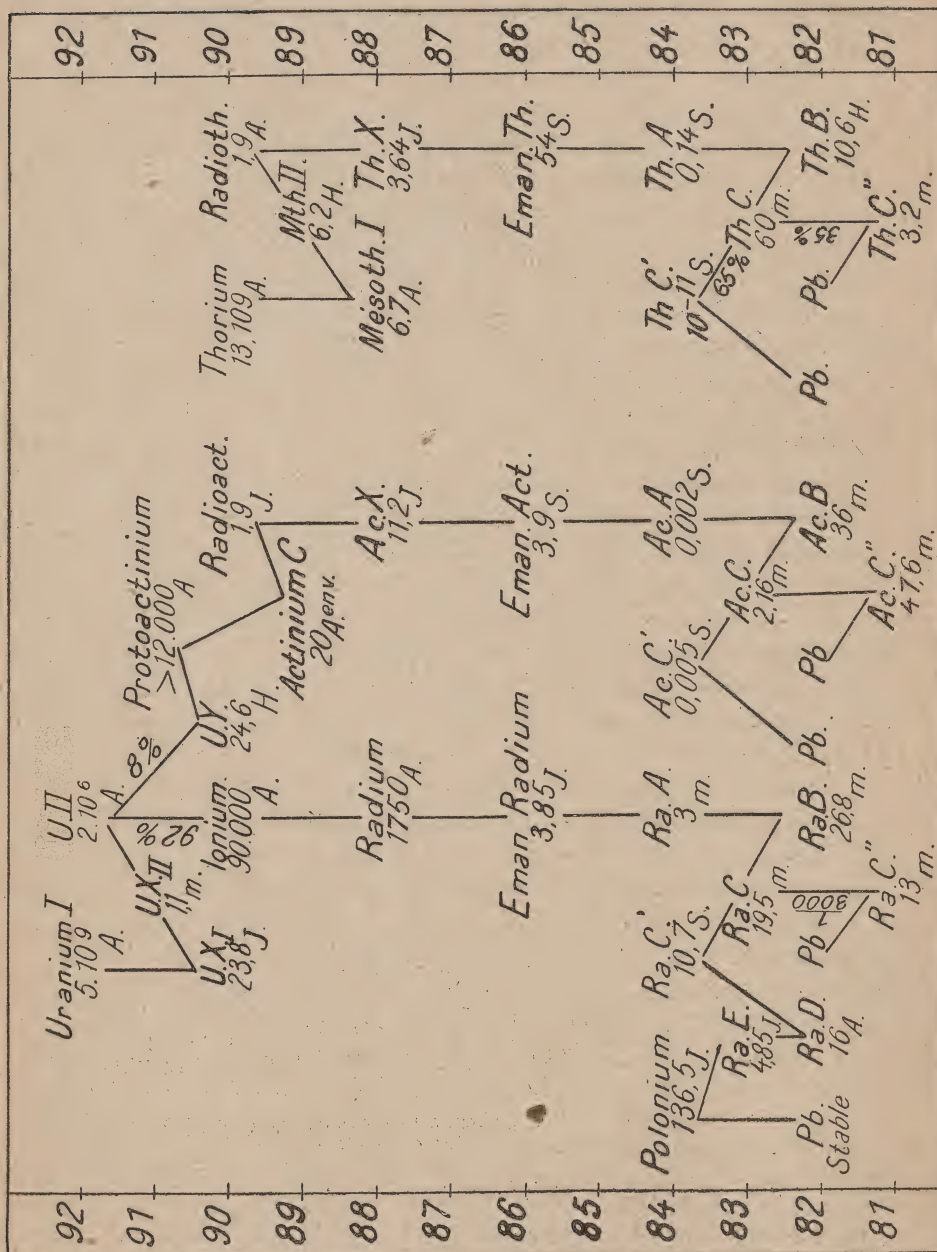
En général, comme nous l'avons déjà dit, une transformation se fait soit par émission β , soit par une émission de particules α ayant toutes une même vitesse initiale (et par conséquent même parcours). Mais au 4^e terme de la famille de l'uranium, on rencontre une exception : 92 0/0 des atomes de l'uranium II donnent des particules α ayant une certaine vitesse, et donnent naissance à l'ionium, substance mère du radium : 8 0/0 des atomes lancent aussi des particules α , mais avec une autre vitesse initiale et sont l'origine d'une seconde branche, qui contient l'actinium.

Il y a des analogies frappantes entre les évolutions dans la famille du thorium et dans les deux branches de la famille de l'uranium. Ces analogies sont surtout remarquables à partir des émanations : dans toutes les familles, l'émanation est suivie d'un corps A très éphémère qui expulse des particules α à grande vitesse pour donner un corps B un peu moins instable qui n'émet pas de rayons α ; puis vient un élément C plus éphémère que le précédent qui est la tête d'une bifurcation parce qu'il peut se transformer de deux manières, un certain pourcentage de ses atomes donnant des rayons α , et les autres atomes des rayons β ; l'élément C' formé dans l'émission β est prodigieusement éphémère (2) ; dans la branche issue de C', on trouve ensuite des corps plus stables, tellement stables dans la famille du thorium et dans la série de l'actinium que nous ne constatons plus d'évolution ; dans la série du radium le corps est cependant radioactif, mais avec

(1) Radioactivité découverte par MM. Campbell et Wood : on ne constate qu'une émission de rayons β peu pénétrants : on ne connaît pas les produits de transformation.

(2) Il n'est révélé que par le parcours de ses particules α , et sa période est estimée d'après la loi qui relie le parcours et la période, comme il a été dit plus haut.

TABLEAU I. — Corps radioactifs aujourd'hui connus, dans leur ordre de filiation.



A, années; J, jours; H, heures; m, minutes; s, secondes.

période beaucoup plus longue que ceux qui le précèdent ; dans cette dernière série, l'évolution s'arrête (en apparence tout au moins) trois termes plus loin. Nous parlerons tout à l'heure des plombs, derniers termes des transformations.

Il convient d'appeler l'attention sur un corps intéressant, le mésothorium I. Au point de vue des applications, il est comparable au radium en ce sens que la majeure partie de la radioactivité de plusieurs tonnes de minerai se retrouve concentrée dans une préparation de quelques décigrammes. On peut obtenir un produit beaucoup plus actif que le radium pur, et la matière première est abondante. Mais le mésothorium présente l'inconvénient d'avoir une période de 5 ans $1/2$ seulement : il est donc loin d'avoir la permanence du radium dont la période est 1750 ans.

*
* * *

Si l'on cherche à remonter aux causes premières, la radioactivité reste encore aujourd'hui un phénomène étrange et mystérieux. Dans la loi exponentielle des transformations, les mathématiciens reconnaissent une loi de grands nombres, une loi statistique de hasard : il ne peut être question de vie moyenne et il n'y a de loi des transformations qu'à cause du nombre colossal d'atomes.

Cette loi peut s'énoncer : la quantité de matière qui se transforme est, à chaque instant, proportionnelle à la quantité présente ; cela signifie que : *pendant un temps donné, la probabilité de destruction est la même pour tous les atomes d'un même corps et reste toujours constante.*

Ainsi, l'atome ne meurt par de vieillesse, car s'il vieillissait la probabilité de destruction augmenterait avec le temps ; il meurt donc d'accident. Une cause de destruction fortuite vient le frapper.

Une première théorie, généralement admise, cherche cette cause à l'intérieur même de l'atome ; on est conduit à penser que le hasard qui préside aux destinées des atomes est un *hasard interne* (Henri Poincaré). Mais qui dit hasard dit grands nombres : c'est donc que l'atome radioactif est un nombre complexe, formé de particules nombreuses en mouvement désordonné. Lorsque, par hasard, certaines conditions que nous ne saurions prévoir se trouvent réalisées, l'atome perd sa stabilité et explose ; un bouleversement se produit, un nouveau régime de mouvements intérieurs désordonnés prend naissance, et un nouvel atome est formé.

Cependant, suivant une remarque due à M. Lepape, ce désordre n'est pas absolu, car si le temps pendant lequel doit vivre un atome sous

une forme particulière est indéterminé, cet atome doit néanmoins, tôt ou tard, passer par des formes déterminées, puisqu'il donne naissance, dans un ordre de succession immuable, à la série des produits de transformation ; « sa destinée qualitative est déterminée ».

Puisque aucune action extérieure n'agit sur l'évolution radioactive, la partie de l'atome où se passent les phénomènes radioactifs est un monde fermé ou presque fermé. C'est précisément ce qui constitue l'individualité chimique de l'atome.

En opposition avec cette théorie de l'atome *spontanément* explosif se place une hypothèse énoncée dès 1898 par Mme Curie : « on pourrait imaginer que tout l'espace est constamment traversé par des rayons analogues aux rayons de Röntgen, mais beaucoup plus pénétrants et ne pouvant être absorbés que par certains éléments à gros poids atomiques, tels que l'uranium et le thorium (1) ».

Dans cette hypothèse on peut admettre, avec M. Jean Perrin (2), que les « rayons ultra-X » supposés produisent une véritable « ionisation », mais alors c'est une ionisation beaucoup plus profonde que celle due aux radiations que nous connaissons ; ces rayons entretiendraient l'émission radioactive et l'énergie émise sous forme de rayons α , β , γ , serait une portion de l'énergie empruntée au rayonnement extérieur ; quant à la majeure partie de l'énergie des rayons ultra-X absorbés par les atomes, elle viendrait accroître l'énergie interne de la matière transformée. La spontanéité du phénomène radioactif ne serait qu'apparente, et les doublements atomiques, à nos yeux fortement exothermiques (c'est-à-dire avec émission d'énergie), seraient en réalité fortement endothermiques. Contrairement à la théorie classique, l'atome radioactif serait « un système très stable qu'on ne peut dédoubler que par un arrachement prodigieusement pénible ».

Quant aux rayons ultra-X, bien plus pénétrants encore que les rayons γ , ils viendraient des profondeurs du globe terrestre.

La théorie de M. Jean Perrin est d'une audace formidable, mais ce n'est pas là une raison pour la rejeter. Entre elle et la théorie de l'atome *spontanément* explosif on ne peut pas prendre parti *a priori*, et la parole est aux expérimentateurs, car diverses vérifications apparaissent comme possibles (3).

(1) *C. R. de l'Ac. des Sc.*, CXXVI, p. 1103 ; 12 avril 1898.

(2) Jean Perrin : *Revue du mois*, 10 février 1910.

(3) Pour plus de détails voir Jean Becquerel : *La Radioactivité*, chap. IX, X, XII (*Collection Payot*).

Quelle que soit la théorie admise, puisqu'un élément radioactif est essentiellement différent de celui qui lui a donné naissance, qu'on n'a jamais réussi à régénérer la substance mère, et même qu'aucune action connue ne modifie l'évolution, on doit penser que la particule chassée dans la transformation d'un atome est une de celles qui jouent, dans la constitution de celui-ci, un rôle capital. Les transformations radioactives sont donc bien autrement profondes que les réactions chimiques ; d'ailleurs l'énergie mise en jeu est d'un tout autre ordre de grandeur ; la chaleur dégagée par l'absorption des rayons est formidable : à volume égal, le radon par exemple, dans sa transformation totale, libère 12 millions de fois plus d'énergie que la combustion d'un mélange d'hydrogène et d'oxygène.

Les corps radioactifs ne sont pas des corps composés ; ce sont des éléments biens définis, mais des éléments dont l'atome ne reste pas indéfiniment stable.

*
* *

Les faits qui viennent d'être exposés nous conduisent à envisager dans l'atome deux parties ; le noyau, constituant un monde fermé ou presque fermé : la périphérie, seule influencée par les agents habituels. D'autres découvertes ont permis de préciser ces notions.

Le passage des rayons α à travers la matière a confirmé l'existence d'un noyau atomique chargé d'électricité positive, où presque toute la masse de l'atome est formidablement concentrée. Les trajectoires des particules α subissent, en traversant des lames métalliques très minces, ou en passant dans un gaz, de légères déviations, mais accidentellement une particule peut se trouver considérablement déviée, sa trajectoire formant un coude brusque. Une méthode, due à M. C. T. R. Wilson, permet de photographier les trajectoires des particules α dans l'air : on fait pénétrer les rayons α dans une enceinte saturée de vapeur d'eau, et par un abaissement brusque de pression, qui refroidit le gaz, on produit la sursaturation ; l'eau se condense sur les ions formés le long de la trajectoire de chaque particule ; en éclairant par une étincelle on photographie les files de gouttelettes qui dessinent les trajectoires. De temps en temps, on observe des coudes brusques qui s'expliquent si l'on admet qu'une particule α a frappé un noyau atomique. Les observations de Sir E. Rutherford et de ses collaborateurs, ainsi que les calculs de Sir G. Darwin, ont permis de déterminer les charges des noyaux de divers éléments, ainsi que les limites supérieures de leur grosseur.

Le noyau d'hydrogène possède, au signe près, la même charge que l'électron négatif, mais il est plus petit, bien que sa masse soit 1.850 fois plus grande (1). On lui a donné le nom de *proton*.

Les résultats de ses expériences ont conduit Sir E. Rutherford à une conception de l'atome (2), qui rend compte de la plupart des faits connus, en particulier de la structure des spectres des radiations lumineuses (théorie de Niels Bohr), ainsi que des spectres des rayons X (loi de Moseley).

Un atome est formé d'un noyau très petit et d'une densité formidable possédant une charge positive $+Ae$, multiple exact de l'atome d'électricité e . Ce noyau est entouré de A électrons négatifs formant autant de satellites qui gravitent autour de lui. Ce sont ces A électrons dont l'ensemble constitue ce que nous avons appelé la *périphérie* de l'atome.

Le nombre entier A est le *nombre atomique* : nous verrons bientôt qu'il joue un rôle essentiel.

L'atome d'hydrogène est simplement formé d'un proton autour duquel gravite un unique électron : le nombre atomique est 1 (3).

L'atome d'hélium, de nombre atomique 2, est constitué par une particule α (noyau d'hélium), de charge $2e$, autour de laquelle tournent deux électrons. Quant à la particule α , elle est un groupement de 4 protons et de 2 électrons : cet assemblage intervient « en bloc » dans la constitution d'autres noyaux et *il est excessivement stable, puisque la particule α n'est jamais détruite dans les explosions radioactives.*

Pour un élément quelconque, le nombre atomique est la différence entre le nombre de protons et le nombre d'électrons qui, en dernière analyse, sont contenus dans le noyau. Ce noyau est très complexe dans le cas des atomes à gros poids atomique.

C'est un retour à la vieille hypothèse de Prout : l'hydrogène, ou plus exactement son noyau, le proton, est un constituant universel

(1) Plus exactement, sa masse est plus grande précisément parce qu'il est plus petit. On démontre en effet que, *si toute l'inertie est d'origine électromagnétique*, à charge constante la masse est d'autant plus grande que la charge est plus concentrée.

(2) Il est de toute justice de rappeler que l'idée première de cette conception a été émise, il y a déjà 23 ans, par M. Jean Perrin (*Rev. Scient.*, 13 avril 1901).

(3) L'ion d'hydrogène, obtenu par arrachement de l'électron, est donc identique au proton.

de toute matière : il faut y adjoindre un second constituant, l'électron. On peut dire encore que le proton est l'atome d'électricité positive, et que l'électron est l'atome d'électricité négative, ces deux atomes d'électricité ayant des charges égales mais de signes opposés, et des masses différentes.

Dès 1870, Mendelejeff avait établi une classification périodique des éléments. Ecrivons les éléments *par ordre des poids atomiques croissants*; nous formons d'abord la première ligne horizontale du tableau II. Arrivés au néon, nous remarquons que ce corps est de même famille chimique que l'hélium ; nous l'écrivons au-dessous ; puis vient le sodium, analogue au lithium, etc... Finalement, dans le tableau, l'hydrogène est à part, mais les autres éléments se trouvent rangés de telle sorte que les corps de même famille chimique soient dans une même colonne verticale. Une périodicité dans les propriétés chimiques des éléments apparaît clairement (1).

Les corps découverts postérieurement à la classification donnée par Mendelejeff sont toujours venus se placer dans une case qu'il avait fallu laisser vacante (ex. : gallium, thallium) ou ont formé une colonne nouvelle (la famille des gaz rares, groupe O).

Mais une grosse difficulté s'est présentée à mesure qu'on découvrait tous les produits de l'évolution de l'uranium et du thorium ; le nombre des cases vacantes était insuffisant pour les loger isolément ; il fallait donc, ou bien subdiviser les cases comme on avait déjà dû le faire pour le groupe dit des métaux rares, ou mettre plusieurs éléments dans une même case, *comme s'ils étaient chimiquement identiques*.

C'est la seconde solution qui se trouve exacte : on a constaté que certains des nouveaux éléments, bien que possédant des poids atomiques différents et des constantes radioactives différentes, ont *exactement* les mêmes propriétés chimiques, et des propriétés physiques sinon rigoureusement identiques, du moins extrêmement peu différentes.

Par exemple, le thorium, le radiothorium, l'uranium X₅, l'uranium X et l'ionium sont chimiquement identiques. L'ionium et l'uranium Y

(1) Dans le tableau, les chiffres indiquant les n^{os} des groupes expriment la valence chimique. A partir du groupe IV, les éléments se combinent souvent suivant de nombreuses valences différentes ; en général, les valences les plus fréquentes sont le nombre de groupe et huit moins ce nombre. On a rendu compte de ce fait en admettant que le nombre d'électrons de la couche la plus extérieure de l'atome varie de 1 à 8.

TABLEAU II. — Tableau périodique des éléments.

Pé- riodes	Groupe 0	Groupe I	Groupe II	Groupe III	Groupe IV	Groupe V	Groupe VI	Groupe VII	Groupe VIII
		(1) H. 1,0077							
1	(2) He 4	(3) Li 6 7	(4) Be 9	(5) B 10 11	(6) C 12	(7) Az 14	(8) O 16	(9) F 16	
2	(10) Ne 20 22	(11) Na 23	(12) Mg 24 25 26	(13) Al 27	(14) Si 28 29	(15) Ph 31	(16) S 32	(17) Cl 35 37	
3	(18) Ar 36 40	(19) K 39 41	(20) Ca 40,07	(21) Sc 44,1	(22) Ti 48,1	(23) V 51	(24) Cr 52	(25) Mn 54,93 55,84	(26) Fe (27) Co (28) Ni 58,97 58,60
		(29) Cu 63,57	(30) Zn 65,37	(31) Ga 69,9	(32) Ge 72,5	(33) As 75	(34) Se 79,2	(35) Br 81	
4	(36) Kr 78 80 82 83 84	(37) Rb 85 86	(38) Sr 87,83	(39) Y 87,7	(40) Zn 90,6	(41) Nb 93,5	(42) Mo 96	(43) inconnu	(44) Rh (45) Pd 101,7 102,9 106,7
		(47) Ag 107,88	(48) Cd 112,40	(49) In 114,8	(50) Sn 118,7	(51) Sb 120,2	(52) Te 127,5	(53) I 127	
				57 à 72) métaux rares dont un à découvrir 72					
5	(50) Xe 129 131 132 134 136	(55) Cs 133	(56) Ba 137,37	(81) Tl 204 à 210	(82) Pb 206 à 214	(73) Ta 181,5 (83) Bi 200 à 214	(74) W 184 (84) Po 210 à 218	(75) inconnu (85) inconnu	(76) Os (77) Ir (78) Pt 190,9 193,1 195,2
6	(86) Em 218 220 222	(87) inconnu	(88) Ra 222 à 228	(89) Ac. 226 à 228	(90) Th 232 à 234	(91) Pa 230 à 234	(92) Ur 234 à 238		

Les nombres qui précèdent la désignation des éléments sont les numéros atomiques ; les nombres qui suivent sont les poids atomiques, celui de l'oxygène étant pris égal à 16 exactement. Les poids atomiques franchement différents de nombres entiers révèlent très probablement des mélanges de corps isotopes non encore séparés.

qui ont même nombre atomique et même poids atomique sont indiscernables autrement que par leur constante radioactive.

M. Soddy a appelé *isotopes* les éléments chimiquement identiques et M. Fajans a désigné sous le nom de *pléiade* un groupe d'isotopes. Les deux lois suivantes éclairent la question : 1° Toute transformation par rayons α abaisse le poids atomique de 4 unités et abaisse de 2 unités le rang dans la classification (Soddy) ; 2° Toute transformation par rayons β conserve le poids atomique et élève le rang d'une unité (Russell, Soddy et Fajans).

En appliquant ces lois, les corps d'une pléiade viennent toujours se placer dans la même case du tableau. Or la perte d'une particule α , dont la charge est $+2e$, diminue de 2 unités le nombre atomique ; la perte d'un électron nucléaire de charge $-e$ augmente ce nombre d'une unité. On voit avec évidence, par les lois précédentes, que la classification naturelle est en réalité, non pas une classification par poids atomiques croissants, mais une classification par charges électriques nucléaires croissantes, par nombres atomiques croissants. D'une case à la suivante, le nombre atomique augmente d'une unité. Tous les isotopes d'une même pléiade ont même nombre atomique et le numéro de leur case est précisément ce nombre.

L'étude des rayons X a permis, grâce à une loi découverte par Moseley, de fixer les nombres atomiques de tous les éléments et d'affirmer qu'il y a encore entre l'hydrogène ($A=1$) et l'uranium ($A=92$), 5 places vacantes, donc 5 éléments ou plutôt 5 pléiades à découvrir.

Dans le tableau I (concernant seulement les éléments radioactifs), les nombres atomiques sont marqués sur le côté ; les isotopes d'une même pléiade sont placés sur une même ligne, et l'on voit que, conformément aux lois précédentes, le nombre atomique est abaissé de 2 unités par une émission α , et augmente d'une unité par une émission β .

Je ne puis ici que faire mention d'une méthode remarquable, due à Sir J.-J. Thomson et perfectionnée par M. Aston, qui a permis de découvrir des pléiades d'éléments non radioactifs. Il existe, par exemple, deux chlores, deux potassiums et probablement six mercures. *Tous les poids atomiques sont des nombres entiers* (1), mais autrefois on

(1) Les poids atomiques sont entiers, *au millième près*, si l'on prend par convention celui de l'oxygène égal à 16 exactement. Il y a une exception, d'ailleurs fondamentale : le poids atomique de l'hydrogène est 1,008. On sait aujourd'hui que l'excès sur 1 est dû à l'inertie de l'énergie

avait trouvé des écarts aux valeurs entières parce qu'on opérait, sans le savoir, sur des mélanges d'isotopes ; nous avons dit que ces écarts avaient fait abandonner l'hypothèse de Prout : aujourd'hui toute objection a disparu.

Il convient d'insister sur les termes ultimes des transformations radioactives. Ces termes ont tous le nombre atomique de la case du plomb : ce sont donc des plombs.

On voit sur le tableau des corps radioactifs qu'il doit y avoir 6 plombs, sans compter leurs isotopes rad. B, act. B, thor. B et rad. D, ce qui porte à 10 (au moins) le nombre des corps de cette pléiade.

Le plomb « rad. G » et les 2 plombs d'actinium d'une part, les 2 plombs de thorium d'autre part, non seulement sont isotopes, mais ont aussi même poids atomique. Alors, dira-t-on, ils sont identiques ! non pas ! et c'est là une erreur qu'on commet souvent : deux éléments isotopes et isobares provenant d'évolutions différentes sont nécessairement différents, car leur noyaux atomiques n'ont pas la même énergie interne et par suite diffèrent par la manière dont sont assemblés les protons et électrons (1) : de tels corps peuvent avoir des constantes radioactives franchement différentes (comme par exemple l'onium et l'Ur. Y). Divers faits laissent à penser que le plomb thor. D'' est stable (à nos yeux) et que le plomb thor. D' est radioactif avec une longue période ; ce dernier pourrait être l'origine du thallium qu'on rencontre dans la thorite.

Le plomb ordinaire extrait de la galène est un mélange d'isotopes d'origines inconnues.

On comprend aisément pourquoi c'est le nombre atomique qui caractérise les propriétés physiques et chimiques d'un élément, à l'exception de la propriété radioactive : le nombre et la répartition des élec-

(P. Langevin) et prouve que la formation d'atomes plus lourds à partir des constituants primordiaux est accompagnée d'un énorme dégagement d'énergie. Ce résultat vient à l'appui de la théorie de M. Jean Perrin d'après laquelle le phénomène inverse, la désintégration de la matière, ne serait exothermique qu'en apparence ; il y aurait en réalité absorption d'énergie (absorption des rayons ultra-X).

A cause de l'inertie de l'énergie les autres poids atomiques ne doivent pas non plus être *rigoureusement* des nombres entiers.

(1) Ils ne doivent d'ailleurs pas être *rigoureusement* isobares, à cause de l'inertie de l'énergie. La différence entre leurs énergies internes doit entraîner une très légère différence entre leurs poids atomiques.

trons qui gravitent autour du noyau sont en effet déterminés par la charge électrique de celui-ci. Toutes les propriétés qui dépendent uniquement des électrons périphériques sont alors les mêmes ou sont extrêmement peu différentes pour tous les corps d'une pléiade, car elles ne sont pas sensiblement influencées par la masse matérielle du noyau. Mais les propriétés radioactives peuvent être essentiellement différentes, parce que le phénomène radioactif dépend de la structure du noyau lui-même, et non de son enveloppe.

Si l'hydrogène, ou plus exactement son noyau, le proton, est un constituant universel de la matière, on doit pouvoir, si l'on dispose d'une énergie suffisante, l'arracher aux noyaux complexes, et transmuter les éléments, Sir E. Rutherford, dans ces dernières années, a soumis un grand nombre d'éléments au bombardement par les rayons α du radium C' et du thorium C', qui constituent actuellement les sources d'énergie les plus concentrées. Le résultat a été admirable : avec le bore, l'azote, le fluor, le sodium, l'aluminium et le phosphore, on obtient des « rayons d'hydrogène » provenant des noyaux de ces éléments, mais on n'a pas encore pu reconnaître quels sont les atomes formés après arrachement d'un proton (2).

Aucun corps de poids atomique multiple de 4 ne donne des rayons d'hydrogène ; ce résultat fait penser que les protons sont, dans ces corps, assemblés par groupes de 4, chaque groupement constituant une particule α , trop stable pour être détruite par bombardement. Il n'y a de protons suffisamment libres que dans les atomes dont le poids atomique n'est pas un multiple de 4.

On n'a pas observé d'arrachement de particules α par bombardement avec les rayons α ; un tel effet ne se manifesterait d'ailleurs avec certitude que si les particules α arrachées avaient un parcours supérieur à celui des rayons primaires.

Les rayons d'hydrogène donnés par l'aluminium ont un parcours de 90 cm. dans l'air, ce qui correspond pour le proton arraché à une énergie initiale supérieure de 28 0/0 à l'énergie de la particule α qui l'a expulsé. Ce résultat est capital ; car il prouve qu'une partie de l'énergie

(2) Sir Rutherford admet qu'il se produit une désintégration : par exemple l'azote bombardé donnait des noyaux de carbone. Il n'est cependant pas impossible que la particule α s'incorpore au noyau dans lequel elle a pénétré, et dans ce cas, on aurait une intégration. C'est l'expérience qui décidera entre les deux hypothèses.

émise sous forme de rayons d'hydrogène est empruntée à la matière transformée.

Le problème de la transformation des éléments et de la libération de l'énergie intra-atomique a donc reçu un commencement d'exécution : c'est une voie ouverte à des recherches d'un prodigieux intérêt.

Mais, jusqu'à présent, le rendement des transformations par bombardement est déplorable : dans le cas de l'aluminium par exemple, deux particules α seulement sur un million frappent un noyau ; de sorte qu'en bombardant de l'aluminium par des rayons α d'un gramme de radium on libérerait en un an au plus un millième de millimètre cube d'hydrogène!

Il est amusant de donner quelques recettes (1) qui permettraient de faire de l'or ou plutôt *un* or :

- 1° enlever au thallium une particule α ;
- 2° enlever au bismuth 2 particules α ;
- 3° enlever à un plomb 2 particules α et une particule β ;
- 4° enlever à un mercure une particule α et une particule β .

Ces recettes sont infaillibles... mais il nous manque aujourd'hui une source d'énergie assez concentrée pour les appliquer avec succès. La particule α du radium C' ne paraît avoir aucune action sur les éléments dont le nombre atomique est supérieur à celui du phosphore ; cela n'est pas surprenant, car la charge positive du noyau repousse la particule α qui est elle-même chargée positivement ; si le noyau a une trop forte charge, la particule α ne pénètre plus qu'avec une énergie très réduite et peut même ne plus atteindre le noyau.

*
* *

J'ai voulu, dans cette conférence, m'attacher surtout aux caractères physiques du phénomène radioactif et indiquer les conséquences prodigieuses de la découverte d'Henri Becquerel. Je ne saurais, dans le cadre très restreint d'une unique conférence, traiter même brièvement un sujet pourtant bien séduisant : celui de la radioactivité dans la Nature (1). Je dois me borner à des indications générales.

Il se trouve des corps radioactifs partout, dans le sol et dans les eaux. En remontant aux deux éléments ancêtres de toutes les substances ra-

(1) D'après Soddy : le Radium, trad. par A. Lepape.

(1) Sur ce sujet voir l'ouvrage précédemment cité : la Radioactivité, chap. XI et XII.

dioactives (1), il y a en moyenne dans les couches superficielles du sol par gramme de matière, $0,6.10^{-5}$ gr. d'uranium et $1,2.10^{-5}$ gr. de thorium, en équilibre radioactif avec leurs produits de désintégration, et dans l'air on rencontre en moyenne 1 à 2 atomes de radon par centimètre cube : au voisinage des minerais radioactifs, et de certaines sources, la teneur en émanation est d'ailleurs beaucoup plus grande (10 fois plus grande à Joachimstal).

Les corps radioactifs répandus sur toute la Terre émettent des rayons γ radiation pénétrante qu'on rencontre sur toute la surface du globe.

La radioactivité est une des causes d'ionisation de l'air dans les couches basses de l'atmosphère. Elle joue par là un rôle important dans les grands phénomènes de météorologie et d'électricité atmosphérique.

La présence d'hélium occlus dans les minéraux contenant des substances radioactives a souvent permis de calculer l'âge de ces minéraux. On peut en effet recueillir l'hélium et en mesurer la quantité ; comme on peut déterminer la teneur du minéral en matières radioactives et qu'on connaît la vitesse de production de l'hélium à partir de celles-ci, on a tous les éléments permettant de résoudre le problème. Le calcul n'est d'ailleurs applicable qu'aux roches très compactes imperméables aux gaz ; il donne en tout cas un âge *minimum* puisqu'on admet qu'il ne s'est pas perdu d'hélium.

D'autres évaluations ont été faites d'après la mesure du rapport des proportions de plomb et d'uranium contenus dans certains minéraux, en supposant que tout le plomb contenu soit d'origine radioactive.

En accord avec les données géologiques, les chiffres obtenus sont d'autant plus grands que les roches appartiennent à des époques géologiques plus reculées. La période carbonifère paraît remonter à environ 150 millions d'années, et la période précambienne à plus d'un milliard d'années.

On peut admettre que depuis plus d'un milliard d'années les roches n'ont pas été remaniées et sont restées froides.

Enfin, le dégagement de chaleur par les corps radioactifs conduit à envisager sous un nouvel aspect le problème de la chaleur terrestre et de la chaleur solaire. Diverses théories sont d'ailleurs proposées et il paraît prématuré d'opter aujourd'hui pour l'une d'elles.

(1) Sans compter le potassium et le rubidium, faiblement radioactifs.

Nous terminerons par quelques observations générales. Il est remarquable de constater que, grâce à la découverte d'Henri Becquerel et à la méthode électrique qu'il a donnée, on a pu révéler l'existence de corps qui sont en quantité tellement faible qu'ils n'auraient pas été soupçonnés s'ils n'étaient pas radioactifs. L'électroscope et l'électromètre ont permis d'étudier ces corps, de mettre en évidence certaines de leurs propriétés telles que la solubilité ou la volatilité, de les suivre dans les diverses réactions chimiques. Ces appareils sont, pour les corps radioactifs, infiniment plus sensibles que la balance et même que le spectroscope. Il est d'ailleurs à remarquer que, lorsqu'on a besoin d'une extrême sensibilité, c'est encore à la première méthode d'Henri Becquerel, à l'emploi de l'électroscope, qu'il faut recourir.

Nous avons déjà insisté sur le caractère atomique et non moléculaire des transformations radioactives. Chaque corps radioactif est un élément chimique parfaitement caractérisé, possédant son spectre propre, et ne différant de la matière habituelle que par une stabilité moindre ; il n'y a aucune démarcation entre les corps très actifs, les corps moyennement actifs, les corps peu actifs, et ceux qui nous paraissent stables.

Nous sommes alors conduits à nous demander si la radioactivité ne serait pas une propriété générale de la matière. Aucun fait ne permet aujourd'hui de l'affirmer, cependant il est naturel de le penser. Plus une transformation est lente, moins nombreuses sont les particules émises et plus petite aussi est l'énergie de chacune d'elles (1). Or quand leur énergie est inférieure à une certaine limite, les particules ne produisent plus d'effet observable. La radioactivité d'une substance à très longue vie est donc difficile, sinon impossible à déceler par nos moyens actuels. Il est cependant probable que toute matière (sauf évidemment l'hydrogène) peut subir une évolution radioactive, mais la lenteur des transformations et l'absence des conditions favorables à nos moyens d'investigation nous donnent l'illusion de la permanence.

(1) Loi (d'ailleurs inexpliquée) de Geiger et Nuttall : si, pour tous les corps à rayons α d'une même famille, on porte en abscisse le logarithme des parcours des particules α et en ordonnée le logarithme de la constante radioactive, on obtient des points placés en ligne droite. Les corps des différentes familles donnent des droites parallèles.

Toutefois, en ce qui concerne les corps à rayons β , une semblable relation n'existe pas, et il y a même des corps à évolution rapide qui n'émettent que des rayons β mous, au point que dans les premières observations on les avait cru inactifs.

Il faut, d'autre part, que dans des conditions physiques que nous ignorons, mais qui sont probablement réalisées dans les astres à une certaine phase de leur évolution, le phénomène inverse de la radioactivité, *l'intégration des atomes lourds*, puisse se produire : il est en effet nécessaire de fermer le cycle de l'évolution de la matière, car le fait que des éléments variés existent n'est pas compatible avec une évolution qui les conduirait toujours à la destruction.

L'étude de la radioactivité a montré que les atomes lourds, bien que formés en dernière analyse par deux constituants universels, sont des mondes d'une extrême complexité ; elle nous a révélé que la matière constitue un réservoir d'énergie formidable.

L'énergie libérée au cours des transformations est énorme en comparaison de l'énergie libérée dans les réactions chimiques, et pourtant, nous savons aujourd'hui qu'elle n'est que peu de chose comparativement à l'énergie totale contenue dans la matière. Einstein a établi que toute énergie, quelle que soit sa forme, possède une masse et qu'inversement toute masse représente une quantité d'énergie égale au produit de cette masse par le carré de la vitesse de la lumière. Un seul gramme de *n'importe quelle* matière renferme, à l'état latent, une énergie égale à $9 \cdot 10^{20}$ ergs qui, si elle était totalement utilisable, permettrait de soulever 30 millions de tonnes au sommet de la tour Eiffel. L'énergie libérée par une masse initiale de 1 gr. de radium pendant la période 1750 ans au bout de laquelle la moitié est transformée nous paraît déjà considérable et pourtant elle n'atteint pas $1/10.000$ de l'énergie totale contenue dans un gramme de matière *quelconque*.

L'énergie radioactive ne se dégage qu'avec une extrême lenteur, sauf chez quelques corps à évolution presque instantanée : mais ceux-ci, par le fait même de la rapidité de leur évolution, n'existent qu'à l'état de traces infimes et sont inutilisables. Il faudrait pouvoir accélérer la dégradation des corps radioactifs, et mieux encore provoquer la désintégration de toute matière.

Déjà Sir E. Rutherford a entr'ouvert les portes des mondes atomiques : il n'est pas invraisemblable de penser qu'un jour viendra où l'homme saura régler les transformations de la matière et disposer à son gré d'une part de l'énergie qu'elle contient ; il aura alors une puissance divine : espérons qu'il aura la sagesse de s'en servir pour les progrès de la civilisation et non pour la destruction de l'humanité !

(1) Cette conférence a paru dans la *Revue générale des sciences*, nos 20 et 21 (1924).

FÉDÉRATION DES SOCIÉTÉS DE SCIENCES NATURELLES

- I. — **Faune de France**, publiée par l'Office central de Faunistique, *Volumes parus* : Echinodermes, par Kochler, 25 fr. ; — Oiseaux, par Paris, 40 fr. ; — Orthoptères, par Chopard, 48 fr. ; — Sipunculiens, etc..., par Cuénot, 3 fr. 50 ; — Polychètes errantes, par Fauvel, 45 fr. ; — Diptères anthomyides, par Séguy, 60 fr. ; — Pyénogonides, par Bouvier, 8 fr. ; — Tipulides, par Pierre, 25 fr.
- II. — **Année biologique**. — Comptes-rendus des travaux de biologie générale : abonnement annuel, 50 fr.
- III. — **Bibliographie des sciences géologiques**, publiée par la société géologique de France et la société française de minéralogie : Prix, 20 fr. pour la France.
- IV. — **Bibliographie botanique**, publiée par les sociétés botanique et mycologique de France, distribuée avec les bulletins de ces sociétés.
- V. — **Bibliographie américaniste**, publiée par la Société des Américanistes de Paris et distribuée avec son bulletin, le « Journal de la Société des Américanistes ».
- VI. — **Bibliographie géographique**, publiée par l'Association des Géographes français et par la Société de Géographie.
-

Bulletins de la Société Philomathique

1 ^{re} série : 1789-1805	3 volumes in-4°
2 ^e série : 1807-1813	3 volumes in-4°
3 ^e série : 1814-1826	13 fascicules in-4°
4 ^e série : 1832-1833	2 volumes in-4°
5 ^e série : 1836-1863	28 fascicules in-4°
6 ^e série : 1864-1876	13 fascicules in-8°
7 ^e série : 1877-1878	11 volumes in-8°

Mémoires originaux publiés par la Société Philomathique

A L'OCCASION DU

CENTENAIRE DE SA FONDATION

1788-1888

Le recueil des mémoires originaux publiés par la Société Philomathique à l'occasion du centenaire de sa fondation (1788-1888) forme un volume in-4° de 437 pages accompagné de nombreuses figures dans le texte et de 24 planches. Les travaux qu'il contient sont dus, *pour les sciences physiques et mathématiques*, à : MM. Désiré André ; E. Becquerel, de l'Institut ; Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Institut ; Bouty, de l'Institut ; Bourgeois ; Descloizeaux, de l'Institut ; Fourret Gernez ; Hardy ; Haton de la Goupillière, de l'Institut ; Laisant ; Laussedat ; Léauté, de l'Institut ; Mannheim ; Moutier ; Peligot, de l'Institut ; Pellat ; — *pour les sciences naturelles*, à MM. Alix ; Bureau ; Bouvier, de l'Institut ; Chatin, de l'Institut ; Drake del Castillo ; Duchartre, de l'Institut ; H. Filhol, de l'Institut ; Franchet ; Grandidier, de l'Institut ; Henneguy, de l'Institut ; Milne-Edwards, de l'Institut ; Mocquard ; Poirier ; A. de Quatrefages, de l'Institut ; G. Rose ; L. Vaillant.

En vente :

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ A LA SORBONNE

I, RUE VICTOR COUSIN, I

PARIS (V^e).

Q
46
S6784
NH

5675

Bulletin

de la

Société Philomathique

de Paris

FONDÉE EN 1788

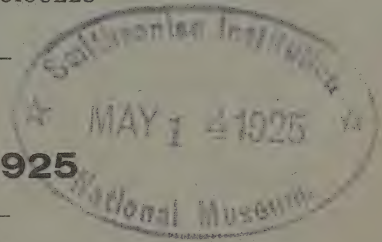
RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 25 MARS 1879

*Cette publication est honorée d'une Souscription
du Ministère de l'Instruction publique*

SÉRIE X. — TOME XIV

2^e ET 3^e FASCICULES

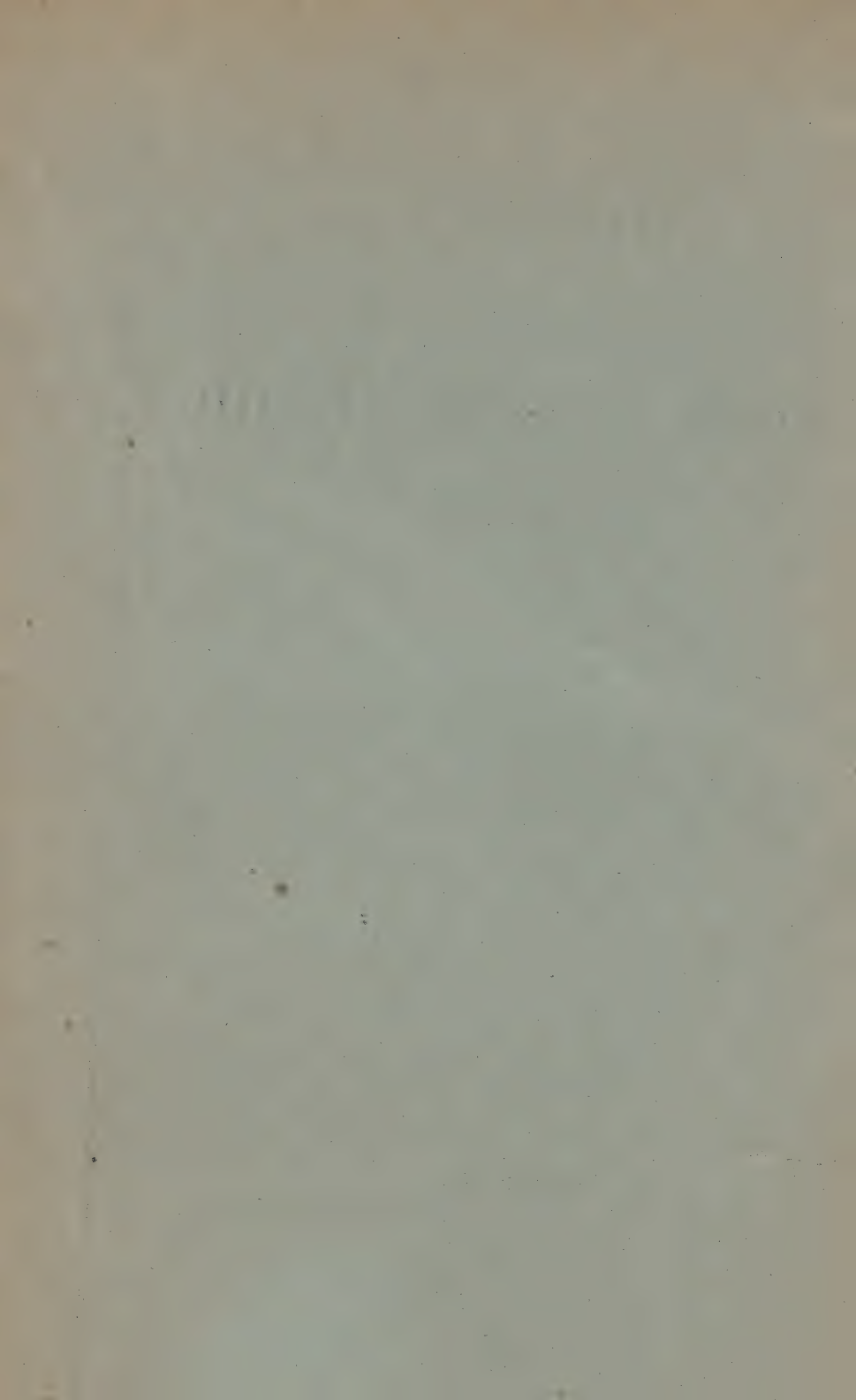
Année 1925



PARIS (V^e)
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE
1, RUE VICTOR-COUSIN, 1

1925

506.44



Bulletin
de la
Société Philomathique
de Paris

FONDÉE EN 1788

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 25 MARS 1879

*Cette publication est honorée d'une Souscription
du Ministère de l'Instruction publique*

SÉRIE X. — TOME XIV

2^e ET 3^e FASCICULES

Année 1925

PARIS (V^e)
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE DE PARIS
A LA SORBONNE

1, RUE VICTOR-COUSIN, 1

1925

9
46
56784
100 gr.
T. 14, fascicule 2-3
1925
CENTHAB

LA SCIENCE

DE LA PAROLE & DU CHANT

PAR

M. MARAGE

DOCTEUR EN MÉDECINE ET DOCTEUR ÈS SCIENCES
CHARGÉ DE COURS A L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PRÉFACE

M. MARAGE a réuni dans ce fascicule plusieurs des communications qu'il a faites à la Société Philomatique :

Les deux dernières avaient pour titre : *Les qualités physiologiques de l'orateur* (7 avril 1924) et *La Science du chant* (9 mars 1925).

Le plan de ce travail est très simple, M. Marage a suivi la destinée d'une onde sonore depuis son point de départ jusqu'à son point d'arrivée.

En effet, qu'est-ce qu'a besoin de savoir au point de vue scientifique, un chanteur ou un orateur ? Ce qui se passe lorsque :

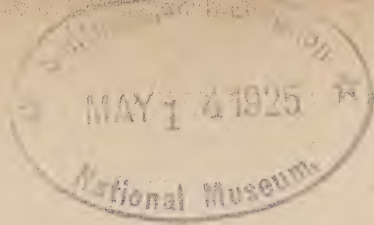
Un artiste parle ou chante dans une salle en se fatiguant plus ou moins devant des auditeurs qui écoutent des opéras ou des tragédies. *Cette phrase contient tout le programme.*

Un artiste est une machine parlante composée :	
de <i>Poumons</i>	Chapitre I
d'un <i>Larynx</i>	— II
et de <i>Résonnateurs</i>	— III
qui transforment le son :	
<i>Principes d'Acoustique</i>	— IV
parle ou chante	
des <i>Voyelles et des Consonnes</i>	— V
dans une salle	
<i>Acoustique des salles</i>	— VI
en se fatiguant plus ou moins	
<i>Travail et portée des voix</i>	— VII
devant des auditeurs qui écoutent	
<i>Théorie de l'audition</i>	— VIII
des opéras	
<i>Voix chantée</i>	— IX
ou des tragédies	
<i>Voix parlée</i>	— X

L'onde sonore est arrivée à son but et le programme est rempli sans que l'auteur ait besoin de parler musique ou méthode de chant.

Ce fascicule ne contient donc que les recherches personnelles de M. Marage qui intéressent les professeurs et les élèves de chant et de diction (1).

(1) Ce travail a paru sous le titre : *Physiologie de la parole et du chant*, chez GAUTHIER-VILLARS, 55, quai des Grands-Augustins, PARIS-V^e.



CHAPITRE PREMIER

LES POUMONS

§ I. — Respiration normale ou physiologique.

1. Inspiration. — 2. Expiration.
3. Appareils de mesure.
4. Muscles inspireurs et expirateurs.

§ II. — Obstacles à la respiration.

1. d'Origine interne. — 2. d'Origine externe.

§ III. — Détermination de la qualité d'un acte respiratoire.

1. Tableaux de la respiration. — 2. Appareils de mesure.
3. Résultats : a) Respiration bonne ; b) Respiration mauvaise.
4. Conclusions.

§ IV. — Développement de l'appareil respiratoire.

1. Développement des muscles inspireurs.
2. Développement des muscles expirateurs.
3. Résultats : a) chez les enfants ; b) chez les adultes.

§ V. — Travaux à faire.

CHAPITRE PREMIER

LES POUMONS

§ I. — RESPIRATION NORMALE OU PHYSIOLOGIQUE

La respiration est une fonction qui a pour but de mettre au service de l'orateur et du chanteur un certain volume d'air.

Chaque acte respiratoire se compose de deux parties : l'entrée de l'air, l'*inspiration* ; la sortie de l'air, l'*expiration* ; on ne parle que pendant l'expiration.

1. — Inspiration.

L'*inspiration* se fait de deux façons : 1° par l'élévation et l'écartement des côtes (respiration thoracique supérieure et inférieure) ; 2° par l'abaissement du diaphragme et le refoulement des intestins (respiration diaphragmatique, appelée encore respiration abdominale).

L'homme et la femme respirent de la même façon.

On doit avoir à sa disposition les deux procédés de manière à faire entrer le plus d'air possible dans les poumons sans se fatiguer.

En moyenne on compte seize actes respiratoires par minute. Une inspiration ordinaire fait pénétrer $1/2$ litre d'air dans les poumons ou 8 litres par minute, 480 litres par heure.

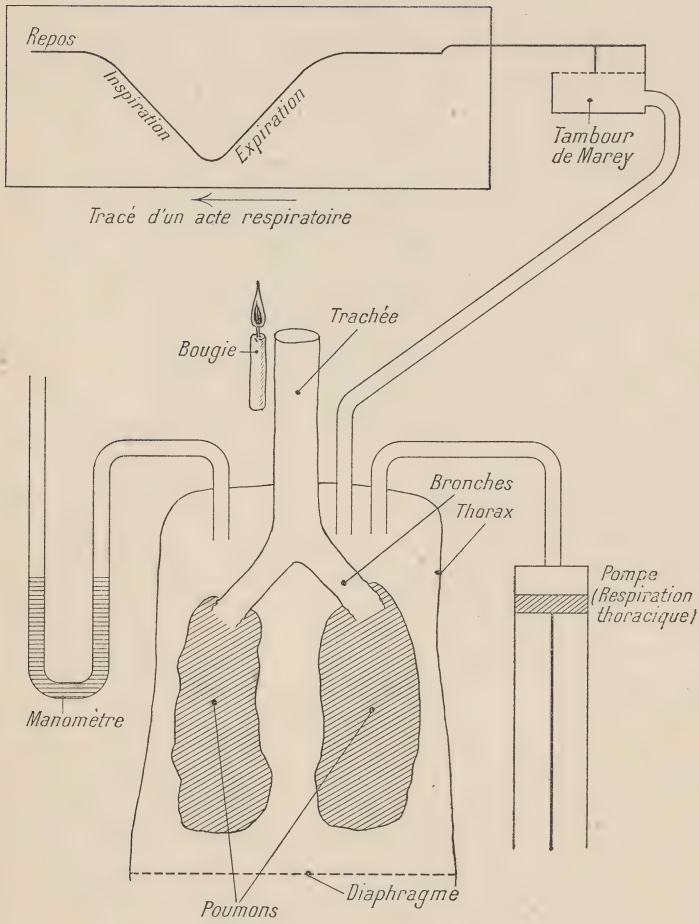


FIG. 1. — Poumons schématiques au repos.

Une inspiration profonde fait pénétrer un volume d'air qui varie suivant la taille, le poids, le tour de poitrine, etc.; ce volume maximum d'air qui peut pénétrer ou sortir est ce qu'on appelle la capacité vitale V ; il varie chez l'homme de 2',50 à 4',75, suivant la taille; chez la femme, de 2 à 4 litres.

Il reste toujours dans les poumons un certain volume d'air qu'on ne peut jamais faire sortir et qui, par conséquent, ne sert pas pour la phonation: c'est l'air résiduel: sa valeur moyenne est de 2 litres.

Le contenu total des poumons se compose donc de la somme de l'air résiduel et de la capacité vitale.

2. — Expiration.

L'*expiration* se fait presque seule, car les poumons élastiques tendent à revenir sur eux-mêmes et à chasser une partie de l'air qu'ils contiennent; dans une expiration profonde, il intervient des muscles dont on parlera plus loin.

3. — Appareils de mesure.

On détermine la place des poumons et en général de tous les organes contenus dans le tronc par le *phonendoscope* (fig. 22).

On détermine la capacité vitale V par des compteurs à gaz que l'on appelle des *spiromètres* (fig. 8).

On détermine les variations de tour de poitrine à différentes hauteurs par les *thoracimètres* (mètre à ruban).

On inscrit la durée et l'amplitude de l'inspiration et de l'expiration par la *méthode graphique* (fig. 1).

On doit à volonté pouvoir faire varier la durée de l'inspiration et de l'expiration; on y arrive par les exercices respiratoires (page 25).

L'énergie de la voix est donnée par le produit VH ; V est le

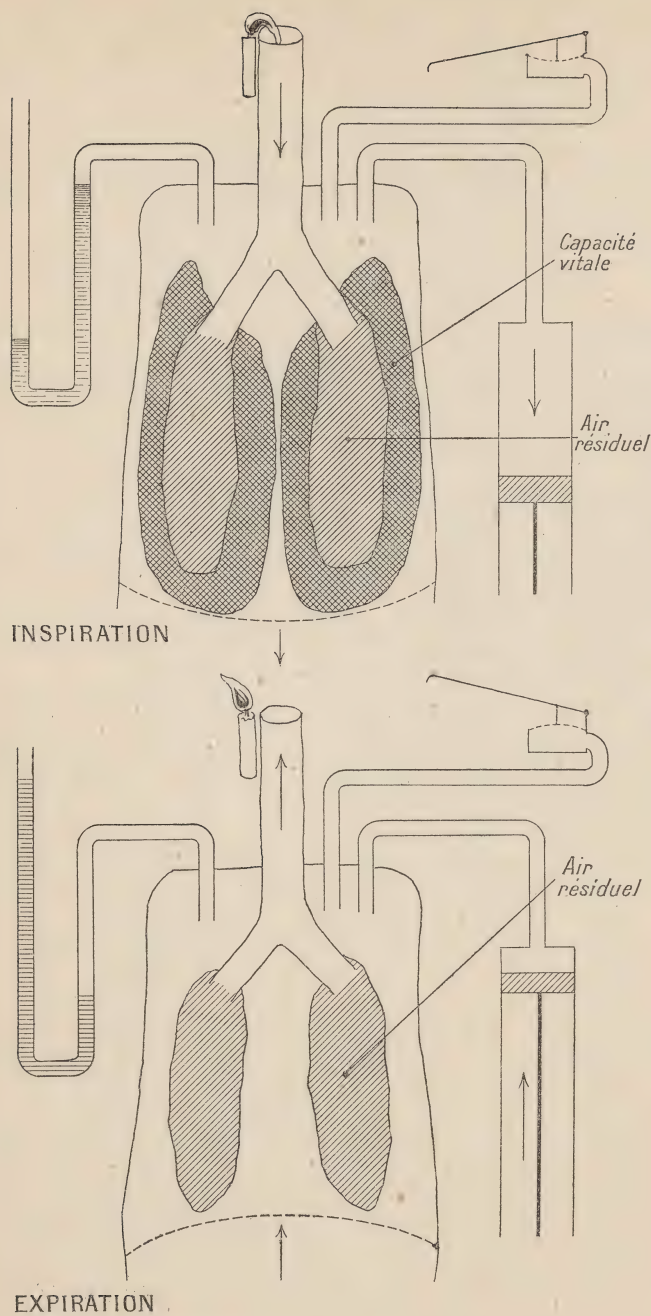


FIG. 2. — Changement de volume des poumons pendant le passage de l'inspiration à l'expiration.

volume d'air qui s'échappe des poumons sous une pression H. Les poumons, par leur élasticité, tendent à revenir sur eux-mêmes; les côtes tendent à s'abaisser, donc l'air tend à s'échapper sous une certaine pression H.

Cette pression varie de 0 à 200 millimètres d'eau pendant l'expiration; pendant la phonation, elle varie de 150 à 200 millimètres d'eau.

4. — Muscles inspireurs et expirateurs

Muscles inspireurs. — Trois principaux :

1° Le petit pectoral, qui va des 3^e, 4^e et 5^e côtes à l'épaule (apophyse coracoïde);

2° Le grand pectoral qui va des sept premières côtes à la partie supérieure de l'os du bras (humérus);

3° Le diaphragme qui forme une cloison mobile séparant le thorax (poumons et cœur) du ventre (estomac, foie, intestins).

Les deux premiers muscles augmentent les diamètres transversaux du thorax; le troisième, le diamètre vertical.

Pour savoir si un élève sait respirer, il suffit de prendre un mètre à ruban et de déterminer l'augmentation du tour de poitrine en passant d'une expiration profonde à une inspiration profonde.

Cette mesure du tour de poitrine doit être faite à trois niveaux différents : *a*) le mètre passe sous les bras au niveau des aisselles : respiration thoracique supérieure ; *b*) le mètre passe au niveau de la pointe du sternum (creux de l'estomac) : respiration thoracique inférieure ; *c*) le mètre passe au niveau de l'estomac et des fausses côtes (respiration diaphragmatique). (On représente graphiquement les résultats) (page 17).

Il doit y avoir une augmentation de la circonférence du tronc à ces trois niveaux; cette augmentation varie avec le sexe, l'âge, la taille et le poids du sujet.

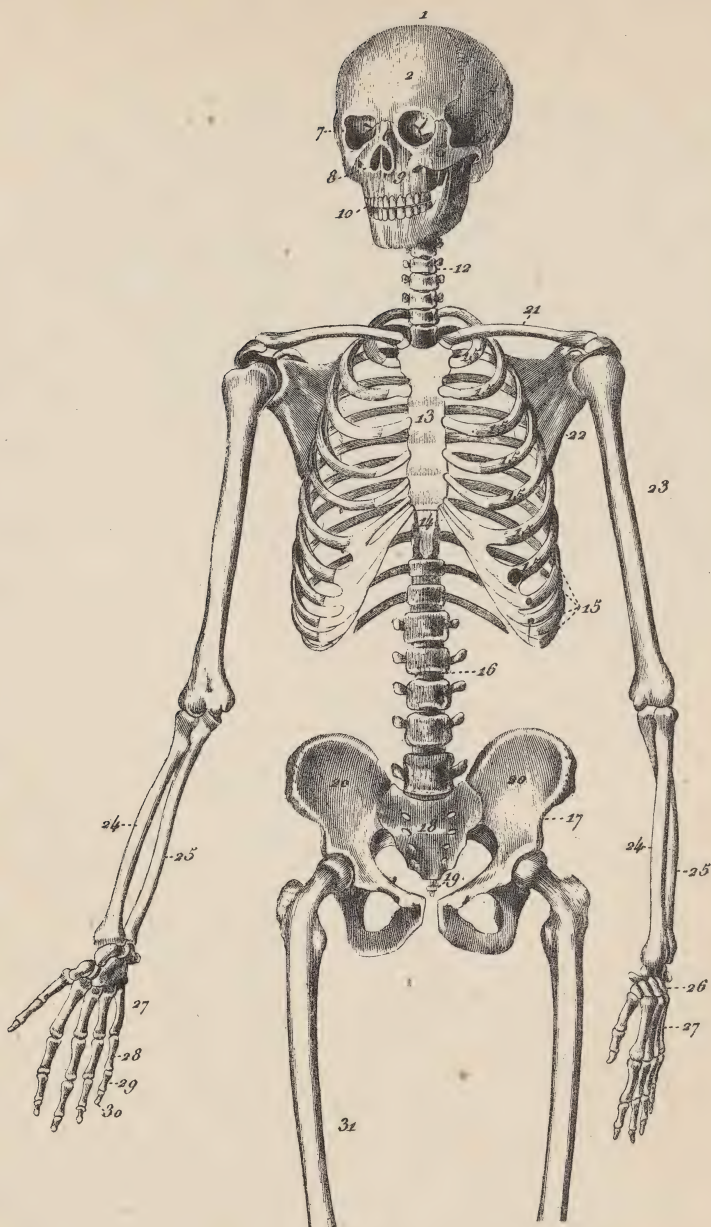


FIG. 3. — 12, colonne vertébrale ; — 13, sternum ; — 14, pointe du sternum ;
15, côtes ; — 21, clavicule ; — 22, omoplate ; — 23, humérus.

La mesure du milieu est la seule qui soit indiquée dans les tableaux des pages 12 et 14.

Muscles expirateurs. — Les poumons étant élastiques tendent à revenir sur eux-mêmes et à chasser une partie de l'air qu'ils contiennent.

Pour faire une expiration plus profonde ou pour chasser l'air sous une pression, H , plus grande, on contracte les muscles de la paroi abdominale (muscles droits au milieu, muscles grand oblique et petit oblique sur les côtés); les côtes inférieures s'abaissent, les intestins sont refoulés et la cavité thoracique diminue de volume dans tous ses diamètres.

On mesure indirectement la puissance des muscles expirateurs par le volume d'air, V , que l'on peut faire sortir des poumons dans une expiration profonde (capacité vitale, spiromètres). On ne peut mesurer H directement que sur les sujets munis d'une canule trachéale.

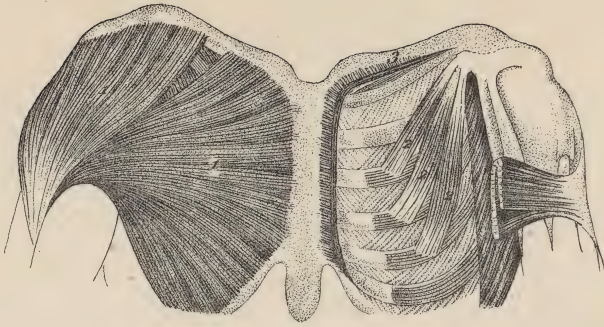


FIG. 4. — Muscles inspireurs.
1, grand pectoral ; — 2, petit pectoral ; — 3, clavicule.

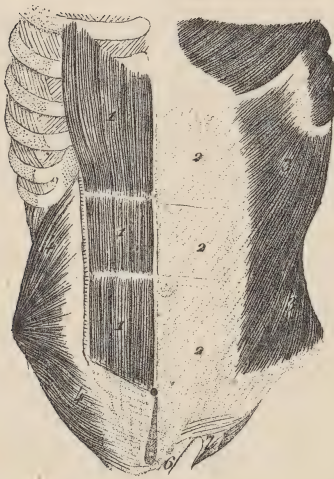


FIG. 5. — Muscles expirateurs.
1, droit de l'abdomen ; — 2, aponévrose ; — 3, grand oblique ; — 4, petit oblique.

§ II. — OBSTACLES A LA RESPIRATION

Les obstacles à la respiration sont de deux sortes :

1° *D'origine interne* : inflammation des poumons, digestion non faite ou mal faite, dilatation des intestins, surcharge graisseuse, névralgies ou rhumatismes musculaires, palpitations, trac (système nerveux) ;

2° *D'origine externe* : vêtements mal compris, corset mal fait, corset trop serré, corset mal placé, corset mal mis.

On comprend, en effet, que le corset peut empêcher le refoulement des intestins et, par suite, le fonctionnement du diaphragme ; on n'a plus alors à sa disposition que la respiration thoracique, alors V est trop petit. De plus H devient trop petit, parce que le corset remplaçant les muscles de la paroi abdominale, ceux-ci cessent de se contracter (ventre mou, en tablier) et s'atrophient.

Un corset trop serré fait engraisser, parce que la respiration étant incomplète, on n'absorbe pas assez d'oxygène et on ne peut plus brûler ses carbures d'hydrogène, c'est-à-dire sa graisse.

Tous les organes du bas ventre sont abaissés, et les reins deviennent flottants.

De plus, la circulation, qui est fonction de la respiration, se fait mal, d'où congestion du larynx, du pharynx et de la face.

Un corset n'est supportable que s'il ne dépasse pas les fausses côtes et ne comprime pas la taille : en bas, il soutient la masse intestinale et peut être plus serré ; les jarretelles bien mises l'empêchent de remonter.

On ne doit jamais mettre son corset étant debout, il faut le mettre étant étendue sur un lit, et commencer par accrocher les agrafes du bas, afin de bien remonter tous les organes abdominaux.

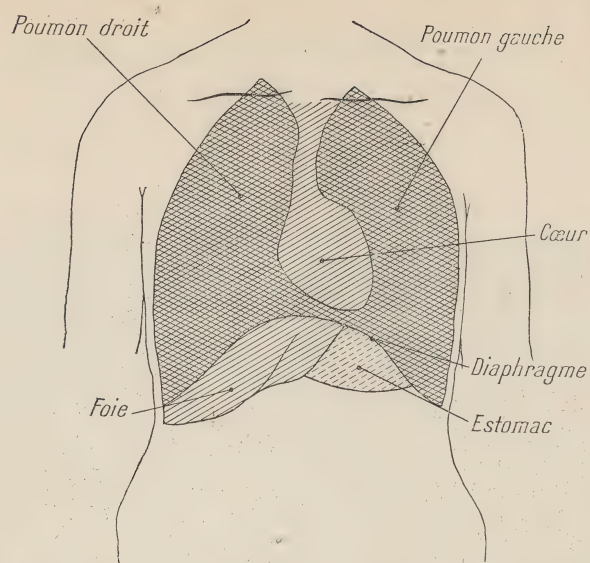


FIG. 6. — Position des organes à l'état normal.

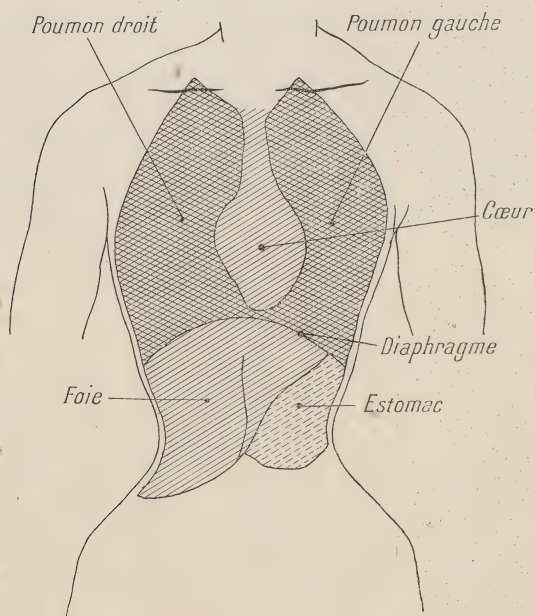


FIG. 7. — Déplacement des organes par un corset trop serré et montant trop haut.

§ III. — DÉTERMINATION DE LA QUALITÉ D'UN ACTE RESPIRATOIRE

De même qu'un tuyau d'orgue vibre mal quand la soufflerie marche mal, le larynx fonctionne mal quand les poumons sont insuffisants. Il faut donc chercher si l'élève sait respirer, c'est-à-dire s'il sait faire fonctionner ses muscles inspireurs et expirateurs. Il faut d'abord avoir des points de repère, c'est-à-dire savoir quelles doivent être, chez un sujet normal de taille déterminée, le poids, la capacité vitale et le périmètre thoracique mesuré, pendant une expiration profonde, au niveau de la pointe du sternum.

Ces données sont contenues dans les deux tableaux suivants :

1. — Tableaux.

Anglais.

HOMMES			TAILLE	FEMMES		
TOUR de poitrine après l'expiration	CAPACITÉ VITALE en centimètres cubes	POIDS		TOUR de poitrine au-dessous des seins	CAPACITÉ VITALE en centimètres cubes	POIDS avec vêtements
99	4,752	75	183	83	3,900	65
97	4,588	74	180	82	3,764	64
96	4,425	73	178	81	3,621	63
95	4,261	72	175	79	3,490	62
93	4,097	71	173	78	3,343	61
92	3,933	70	170	77	3,212	60
91	3,769	69	168	76	3,063	59
89	3,605	68	165	75	2,932	58
88	3,441	67	163	74	2,785	57
86	3,277	66	160	72	2,654	56
85	3,114	65	158	71	2,506	55
84	2,950	64	155	70	2,375	54
82	2,785	63	152	69	2,228	53
81	2,622	62	150	68	2,097	52
79	2,458	61	147	63	1,949	51



FIG. 8. — Spiromètre servant à mesurer la capacité vitale V.

Français ⁽¹⁾.

HOMMES			TAILLE	FEMMES		
TOUR de poitrine	CAPACITÉ VITALE en centimètres cubes	POIDS		TOUR de poitrine	CAPACITÉ VITALE en centimètres cubes	POIDS
86	4,40	70,7	177			
86	4,29	69,7	176			
86	4,35	70	175			
87	4,56	70,3	174			
87	4,17	73,1	172			
84	3,86	64,7	171			
84	3,91	65	170			
84	3,85	63	169			
82	3,55	61	165			
81	3,32	59,4	164			
82	3,49	58,7	163			
82	3,41	58,8	162	75	3,05	58,5
			161	75	3,26	58,5
			159	74	3,03	58,5
			155	72	2,68	55,2
			154	74	2,72	55,3
			152	71	2,39	53,6
			151	72	2,49	53,6
			149	71	2,36	51,9
			147	72	2,51	53,2

Chez les artistes et chez les orateurs, la mesure du périmètre thoracique au niveau de la pointe du sternum est insuffisante : on trouve en effet chez eux, très inégalement développés, les trois types de respiration, thoracique supérieure, thoracique inférieure et diaphragmatique; il faut donc prendre la variation du tour de poitrine au niveau de trois plans horizontaux (*fig. 9*) coupant le creux axillaire (1), la pointe du sternum (2), et l'extrémité antérieure de la deuxième fausse côte (3).

(1) Le premier tableau (Anglais) a été fait d'après des mesures prises sur des sujets entraînés à tous les sports (Comité anthropométrique anglais).

Le second tableau (Français) a été fait d'après des mesures prises sur des sujets quelconques. On comprend alors la différence des résultats (Société d'anthropologie, tome 6, V). Il vaut donc mieux prendre comme type le premier tableau.

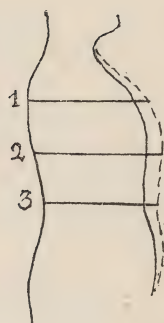


FIG. 9. — Silhouette montrant le niveau des trois mesures ; le pointillé indique la position des parois au moment d'une inspiration.

2. — Appareil.

On pourrait à la rigueur employer comme thoracimètre un simple mètre à ruban ; mais comme souvent la variation du périmètre est peu marquée au moment du passage de l'expiration à l'inspiration, j'ai pris un appareil plus sensible. Il se compose simplement d'une poire en caoutchouc, analogue au pneumographe de Lick, qui communique avec un manomètre métallique extrasensible gradué de 0 à 200 millimètres d'eau (*fig. 10*). Au début, on serre la ceinture, au moment d'une expiration profonde, de manière à amener l'aiguille du manomètre à un degré toujours le même ; au moment d'une inspiration, l'air de la poire est comprimé et l'on note sur le graphique (*fig. 11* et suiv.) la nouvelle indication de l'aiguille ; avec mon appareil une augmentation de pression de 20 millimètres correspondait à une augmentation de périmètre thoracique de 1 centimètre.

3. — Résultats.

Il n'y a pas de respiration masculine et de respiration féminine ; il y a des respirations bonnes et des respirations mauvaises, chacune d'elles pouvant être suffisante ou non, suivant le volume d'air expiré.

a) **Respiration bonne.** — Pour que l'acte respiratoire soit bien fait, il faut que la cage thoracique se dilate à peu près également suivant toutes ses dimensions ; les tracés de la figure 3 pris sur des femmes A et C et sur des hommes B et D montrent bien ce phénomène. Il faut de plus que la respiration soit suffisante, c'est-à-dire que la capacité vitale soit en rapport avec l'âge et la taille du sujet.

b) **Respiration mauvaise.** — La respiration se fait mal lorsqu'un des périmètres, inférieur (1) ou supérieur (3), aug-

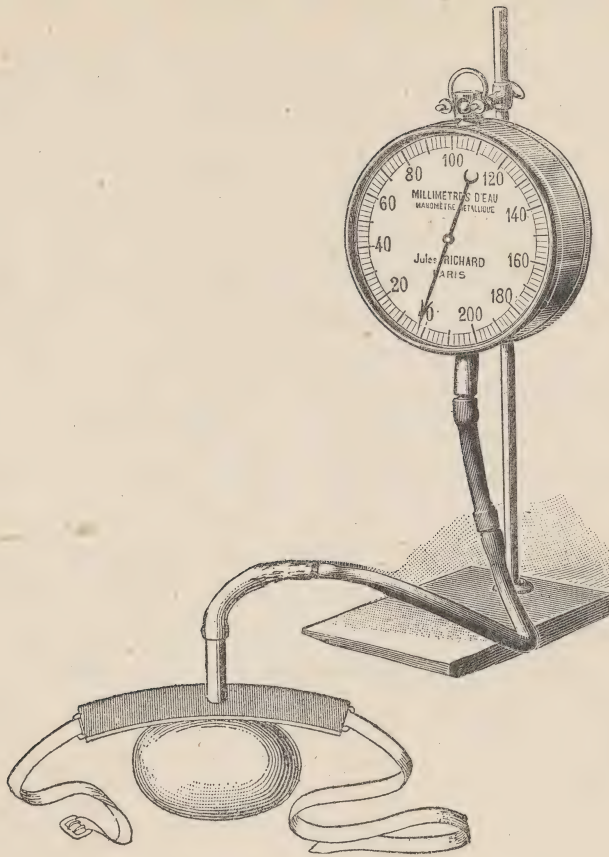


FIG. 10. — Thoracimètre et manomètre.

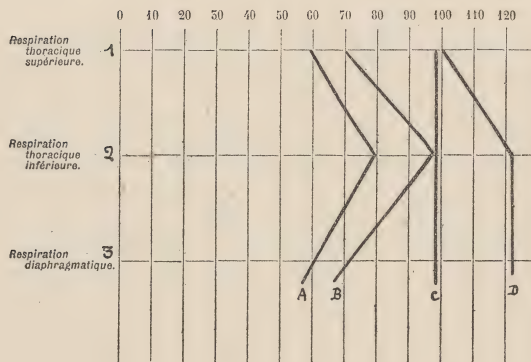


FIG. 11. — Différents types de bonne respiration.

mente beaucoup plus que les autres. Deux cas peuvent se présenter.

PREMIER CAS. — *Augmentation exagérée du périmètre inférieur (fig. 12).* — Ces tracés se rencontrent généralement chez les hommes et chez les femmes à vie sédentaire ; les muscles de la paroi abdominale n'ont plus la tonicité suffisante ; le diaphragme, en se contractant, refoule la masse intestinale ; suivant l'expression vulgaire, ces sujets respirent du ventre.

DEUXIÈME CAS. — *Augmentation exagérée du périmètre supérieur (fig. 13).* — Ces tracés se trouvent surtout chez certains sujets qui font beaucoup de sport et chez les femmes qui portent un corset même non serré ; il suffit en effet du moindre obstacle pour changer le type de respiration ; la figure 6 montre le tracé A chez une femme portant un corset *non serré* et le tracé B chez *le même sujet*, le corset étant enlevé. Les muscles de la paroi abdominale n'ont plus aucun travail à effectuer, puisqu'ils sont remplacés par le corset, et ils se laissent refouler trop facilement par le diaphragme, lorsque cet obstacle a disparu.

4. — Conclusions.

1° Pour qu'une respiration soit bonne, il faut que la cage thoracique se dilate suivant toutes ses dimensions ;

2° Pour qu'elle soit suffisante, il faut qu'elle se dilate assez, de manière à obtenir une capacité vitale en rapport avec l'âge, la taille et le poids du sujet ;

3° Chaque élève de chant et de diction devrait avoir une fiche respiratoire donnant non seulement sa taille, son poids, son périmètre thoracique et sa capacité vitale, mais encore la courbe représentant son genre de respiration ;

4° Il est inutile d'apprendre à chanter ou à parler si on ne sait pas respirer, et la plupart des voix se perdent non pas tant par une mauvaise méthode que par une mauvaise respiration.

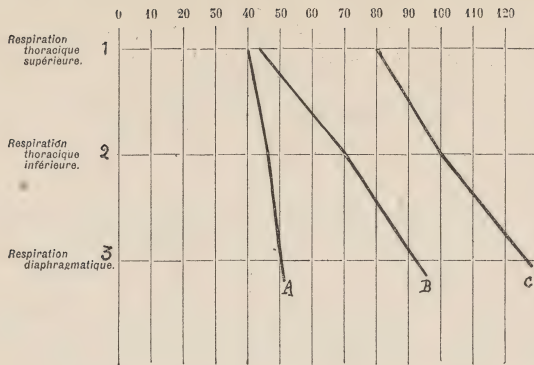


FIG. 12. — Mauvaise respiration avec relâchement des muscles de la paroi abdominale.

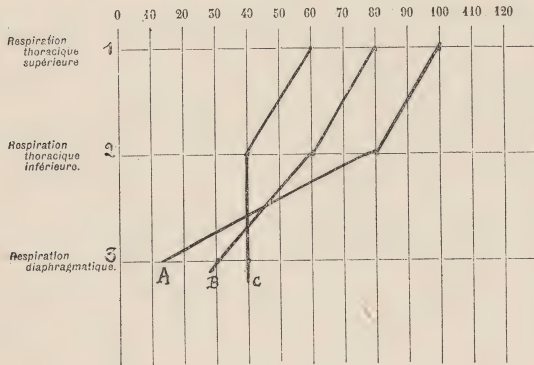


FIG. 13. — Mauvaise respiration avec corset.

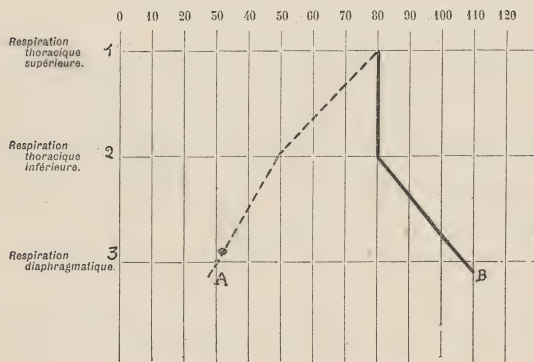


FIG. 14. — Mauvaise respiration avec (A) et sans corset (B).

§ IV. — DÉVELOPPEMENT DE L'APPAREIL RESPIRATOIRE ⁽¹⁾

1. — Développement des muscles inspireurs.

L'énergie de la voix étant donnée par le produit VH du volume V d'air qui s'échappe des poumons sous une pression H , il s'agit, pour un chanteur ou un orateur, d'augmenter ces deux quantités.

Nous nous occuperons d'abord du volume V d'air utilisable pour la voix, et nous étudierons comment on peut accroître sa valeur.

Chez les enfants élevés dans les villes et chez beaucoup d'adultes, les sommets des poumons fonctionnent mal; ces sujets se servent du type de la respiration diaphragmatique; les intestins sont refoulés, les muscles de la paroi abdominale cessent de se contracter; il en résulte le gros ventre des hommes de quarante ans et la poitrine étroite et pyriforme de la plupart des enfants qui ne vivent pas à la campagne.

Les traités de gymnastique indiquent un grand nombre de mouvements qui permettent de remédier à ces inconvénients; mais la plupart de ceux qui en auraient besoin n'ont ni le temps ni les moyens de les exécuter.

J'ai cherché les exercices qui donnent les meilleurs résultats, je les ai ramenés à trois que l'on peut apprendre rapidement; ils sont suffisants : la cage thoracique acquiert en quelques mois son volume normal, tandis que les muscles de la paroi abdominale reprennent leur tonicité ⁽²⁾.

(1) J'indique dans le cours à la Sorbonne un grand nombre d'autres procédés qui ne sauraient trouver place dans un résumé.

(2) Ces muscles étant expirateurs, H se trouve augmenté indirectement.

MODÈLE DE FICHE RESPIRATOIRE

	MESURES	NORMALES	OBSERVATIONS
Taille.	1,70		
Poids.	78	70	+ 8
Tour de poitrine.	86	92	- 6
Capacité vitale.	2,9	3,9	- 1

FIG. 15, recto. — On voit que le sujet pèse 8 kilogrammes en trop; son tour de poitrine a 6 centimètres en moins et il manque 1 litre à sa capacité vitale.

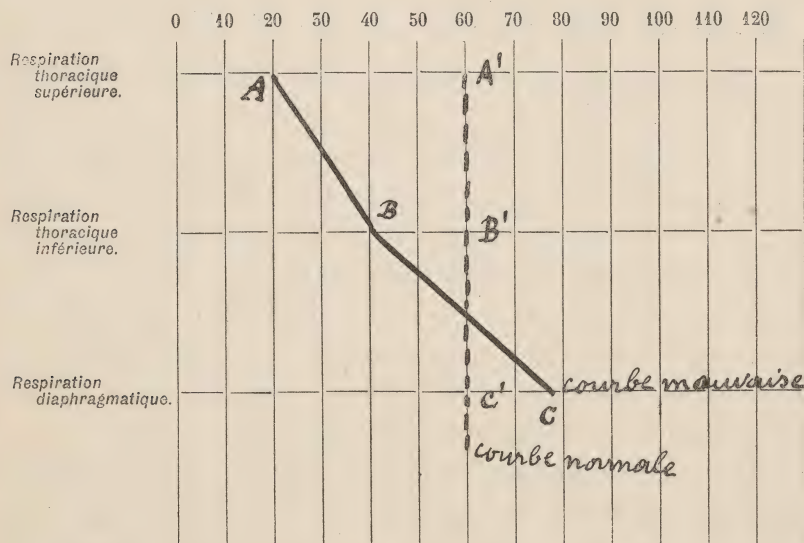


FIG. 16, verso. — Son mode de respiration ABC est défectueux; la partie supérieure du thorax respire à peine, et sa respiration diaphragmatique est trop développée: les exercices respiratoires devront le faire maigrir, augmenter son tour de poitrine, augmenter de 1 litre l'air qu'il doit expirer; de plus sa courbe respiratoire devra devenir A'B'C', c'est-à-dire que toutes les parties du thorax devront fonctionner.

PRINCIPE. — Développer en même temps les muscles inspireurs et les muscles fixateurs des omoplates à la colonne vertébrale. Si l'on développait les pectoraux seuls, les épaules seraient attirées en avant, et le sujet serait voûté (attitude des lutteurs).

RÈGLES GÉNÉRALES. — 1° Dans tous les exercices, l'inspiration doit être faite par le nez, la bouche fermée; dans l'expiration, au contraire, la bouche est largement ouverte;

2° Chaque exercice est répété 10 fois au plus (on commence par 4); puis on passe au suivant; et comme ce ne sont pas les mêmes muscles qui fonctionnent, le deuxième exercice repose du premier;

3° Chaque jour, loin des repas, on fait dix fois chacun des trois exercices; on se repose cinq minutes, et l'on recommence une deuxième série des trois mêmes exercices.

PREMIER EXERCICE (*fig. 17*). — Les bras sont tombants le long du corps, la paume de la main en dedans.

a) *Inspiration*. — On fait décrire aux membres supérieurs, placés parallèlement l'un à l'autre, un arc de 180° dans un plan vertical parallèle au plan médian antéro-postérieur du corps (*fig. 1*, positions 1, 2, 3; plan A).

b) *Expiration*. — On abaisse lentement les bras (*fig. 2*, positions 3, 4, 5; plan B) dans un plan perpendiculaire au précédent; l'air s'échappe lentement des poumons par la bouche ouverte pendant que les bras s'abaissent.

DEUXIÈME EXERCICE (*fig. 18*). — Les avant-bras sont repliés de manière que les extrémités des doigts ne se touchent pas sur la ligne médiane, l'avant-bras et le bras se trouvant dans un même plan horizontal; les bras ne changent pas de position.

a) *Inspiration*. — Les avant-bras, dans le plan horizontal des bras, décrivent un arc de 180° (positions 1, 2, 3; *fig. 1* et 2).

b) *Expiration*. — Les avant-bras reviennent à leur position primitive (positions 3 et 4, *fig. 2*).

TROISIÈME EXERCICE. — *Rotation des épaules* (*fig. 19*). — Les deux épaules étant bien à la même hauteur, les bras pendants:

a) *Inspiration*. — On fait décrire aux épaules un arc de 0 à

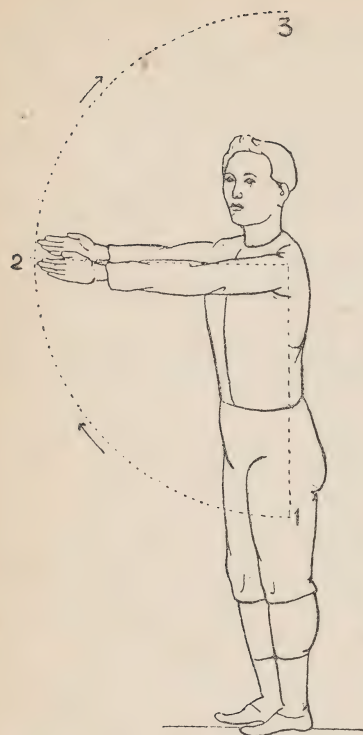


FIG. 1

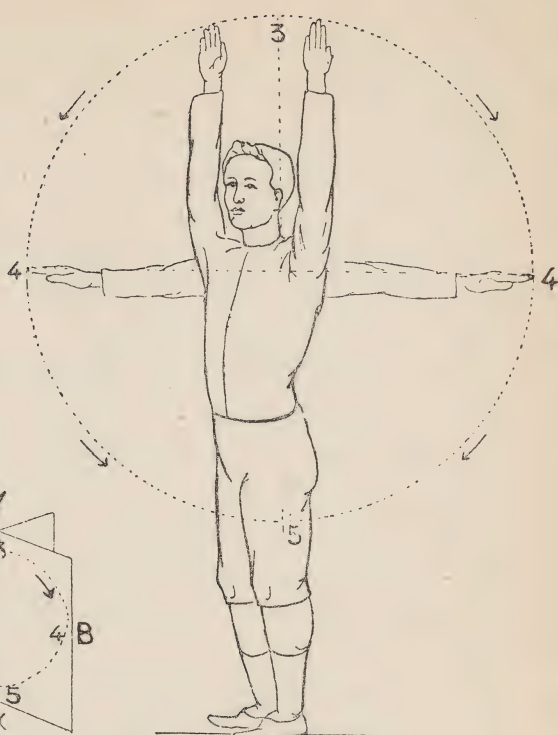
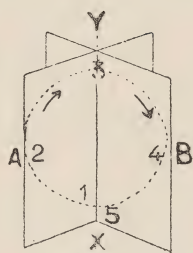


FIG. 2

FIG. 17.

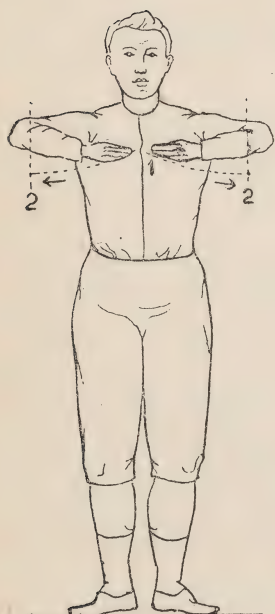


FIG. 1

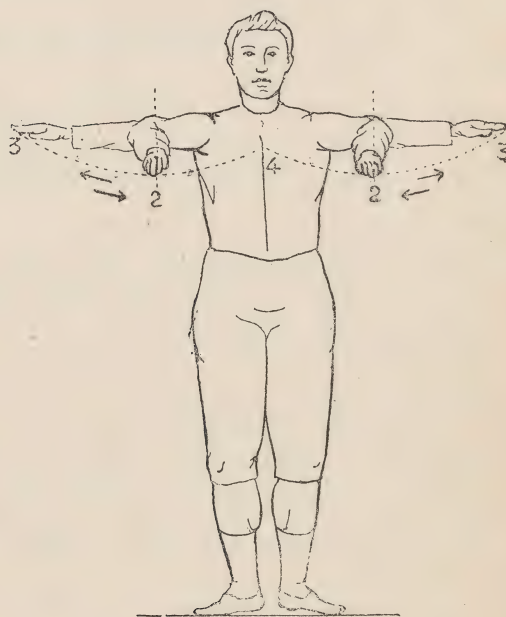


FIG. 2

FIG. 18.

180° en avant, en les portant successivement et d'un mouvement continu dans les positions 1, 2, 3 (*fig. 11, 1*).

b) *Expiration*. — On fait continuer l'arc de cercle en arrière en portant les épaules dans les positions 3, 4, 1 (*fig. 11, 2*).

MESURES. — 1° Chaque mois, on mesure le volume d'air le plus grand que l'on puisse éliminer dans une expiration ;

2° On mesure le tour de poitrine, au-dessous des seins, à la fin d'une expiration profonde.

Des tables donnent la relation entre la taille, le poids, le tour de poitrine et le volume d'air expiré.

RÉSULTATS. — J'ai indiqué pour la première fois ces exercices, il y a six ans, aux auditeurs des cours libres que je fais à la Sorbonne ; un grand nombre de professeurs de chant et de diction les ont fait suivre à leurs élèves, et l'on a toujours obtenu un très grand développement de la cage thoracique.

Chez les enfants, les résultats sont beaucoup plus rapides.

La cavité abdominale cesse d'être ovoïde et reprend sa forme normale.

2. — Développement des muscles expirateurs.

Nous allons maintenant nous occuper du moyen d'augmenter la pression de l'air, H, qui s'échappe des poumons pendant la phonation ⁽¹⁾.

Deux causes peuvent intervenir pour faire baisser H : la faiblesse des muscles expirateurs, la faiblesse des muscles adducteurs des cordes vocales.

1° Muscles expirateurs. — Les muscles expirateurs qui, pendant la phonation, ont le plus d'importance, sont les muscles de la paroi abdominale : les deux droits, les grands et les petits obliques. Chez les sujets à vie sédentaire et dont la

(1) Travail développé pendant la phonation (*Comptes rendus*, 27 mai 1907).

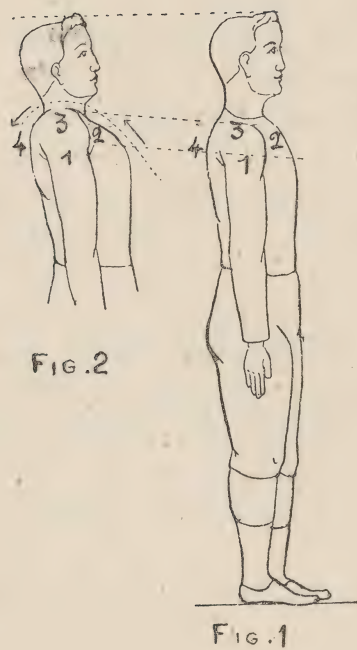


FIG. 19.

quantité de nourriture est supérieure à la ration d'entretien, ces muscles cessent de se contracter suffisamment; il en résulte de l'entéropose et le gros ventre des hommes de quarante ans.

Pour rendre à ces muscles leur ancienne vigueur, il suffit de les faire fonctionner de la façon suivante : on se couche sur le plan horizontal et l'on relève le tronc, les jambes et les cuisses étant immobiles, sans s'aider avec les membres antérieurs (*fig. 20*); cet exercice doit être répété dix fois de suite chaque jour, loin des repas.

Si ce mouvement est impossible par suite de la faiblesse des muscles de la paroi abdominale, il faut, au début, mettre sur les pieds un certain poids dont on diminue peu à peu la valeur; l'entéropose et le gros ventre disparaissent en quelques semaines.

2° Muscles adducteurs des cordes vocales. — Lorsque les cordes vocales ne se rejoignent pas sur la ligne médiane, une partie de l'air s'échappe sans entrer en vibration; c'est ce que les artistes appellent chanter sur le souffle: il y a une fuite dans le tuyau. Il faut donc développer les muscles adducteurs des cordes vocales.

Dans les notes aiguës, le larynx remonte, tous les muscles adducteurs se contractent, la glotte devient aussi étroite et aussi courte que possible; il faut donc faire faire au chanteur des exercices sur les notes aiguës; de plus, comme pendant l'émission des voyelles É et I, les cordes vocales sont bien plus tendues que pendant l'émission de OU, O, A, ces exercices doivent être faits sur les voyelles É et I.

Souvent la note chevrote, c'est-à-dire que les vibrations n'ont pas partout la même amplitude. Pour faire disparaître ce défaut, on doit habituer les muscles à conserver la même contraction pendant un certain temps; les notes doivent donc être soutenues; de plus l'expérience apprend que le chevrottement disparaît plus vite lorsque, dans les exercices, on va des notes aiguës aux notes graves (*fig. 21*).

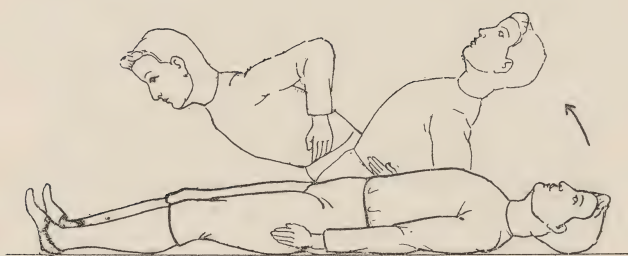


FIG. 20.

CONCLUSION. — Pour augmenter l'énergie de la voix, VH, après avoir augmenté V par des exercices respiratoires, il faut augmenter H en fortifiant les muscles de la paroi abdominale et en forçant les cordes vocales à se joindre sur la ligne médiane au moyen d'exercices sur les voyelles É et I.

3. — Résultats.

a) **Chez les enfants.** — Chaque année, un grand nombre de conscrits sont ajournés ou réformés pour faiblesse de constitution; la cause en est due souvent à un périmètre thoracique insuffisant. Le tableau suivant donne les résultats de ces dernières années :

ANNÉES	CONTINGENT ANNUEL	AJOURNEMENTS	RÉFORMES TOTALES	RÉFORMES PAR FAIBLESSE de constitution
1902.....	325.013	42.372	22.045	1.111
1903.....	324.253	62.160	25.432	1.653
1904.....	321.243	55.125	23.205	1.715
1905.....	321.929	56.635	23.784	1.784
1906.....	326.693	25.793	25.667	1.760

J'ai pensé qu'il serait utile de développer, dès le jeune âge, la cavité thoracique au moyen de trois exercices très simples que j'ai indiqués plus haut pages 23 et 25.

Les expériences ont été faites pendant six mois à l'école primaire de garçons de la rue Cambon : on a pris pour base l'âge des enfants, on a mesuré au moyen d'un spiromètre la capacité vitale, c'est-à-dire le volume d'air utilisable pour la phonation ; le périmètre thoracique a été pris au niveau de l'appendice xiphoïde (bas du sternum).

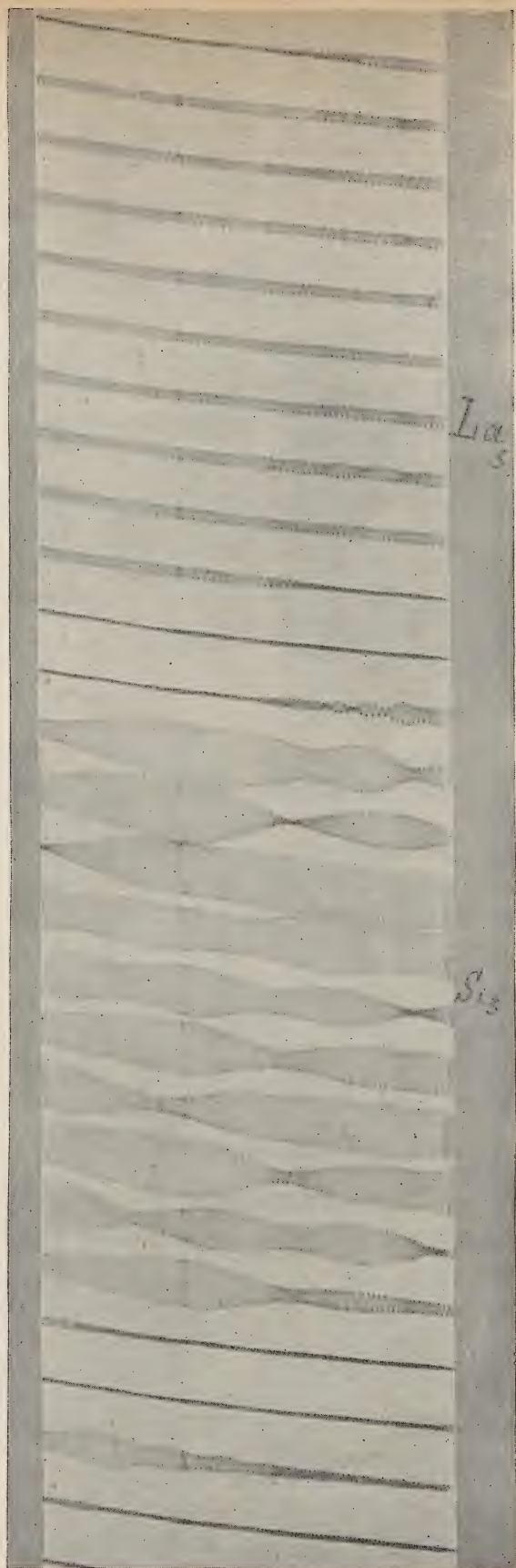


FIG. 21. — Vraie grandeur.

Passage brusque de la voix de poitrine (la_3) à la voix de tête (si_3), la note la_3 est bonne quoiqu'un peu tremblée vers la fin ; la note si_3 est très mauvaise, elle est mal attaquée et chevrotante, mais son intensité est plus grande que celle de la_3 .

Les résultats sont contenus dans le tableau suivant ⁽¹⁾ :

AGE	TAILLE en CENTIMÈTRES		POIDS en KILOGRAMMES		TOUR DE POITRINE EN CENTIMÈTRES			CAPACITÉ VITALE EN LITRES ET CENTILITRES			NOMBRE des ÉLÈVES
	Début	6 ^e mois	Début	6 ^e mois	Début	1 ^{er} mois	6 ^e mois	Début	1 ^{er} mois	6 ^e mois	
6...	115	118	21	20	51	53	57	0,54	0,78	0,85	19
7...	123	125	24	23	52	55	59	0,66	0,80	0,93	14
8...	124	126	25	25	53	56	60	0,79	0,86	1,13	27
9...	130	132	28	28	55	59	63	0,89	1	1,17	29
10...	141	143	32	31	59	62	64	1,20	1,36	1,51	28
11...	138	142	32	33	58	62	66	1,05	1,31	1,70	18
12...	145	149	35	41	59	63	67	1,47	1,67	1,95	22
13...	148	151	40	40	70	74	77	1,93	2,26	2,26	16
14...	147	153	39	43	62	66	74	1,83	1,92	2,15	7

On voit immédiatement que l'accroissement du tour de poitrine a été très rapide pendant le premier mois ; c'est un fait que j'avais signalé autrefois ; il n'est pas rare, après trente séances, de trouver le périmètre thoracique augmenté de 6 à 7 centimètres.

Les mouvements d'inspiration sont généralement très bien faits, les mouvements d'expiration le sont moins bien ; on le constate soit en mesurant la capacité vitale qui n'augmente pas suffisamment, soit en mesurant la diminution du périmètre thoracique dans le passage de l'inspiration à l'expiration profonde ; chez les enfants de six à dix ans, cette variation est de 3 à 4 centimètres ; elle est de 4 à 5 centimètres chez les enfants de onze à quatorze ans.

Les exercices étaient faits chaque jour à la fin de la récréation de dix heures et de quatre heures ; il suffisait de cinq minutes chaque fois ; les enfants rentraient donc en classe cinq minutes plus tard.

Les exercices, contrôlés par le directeur, M. Meunier, ont été surveillés avec le plus grand dévouement par les pro-

(1) Le poids et la taille ont été pris avec les vêtements.

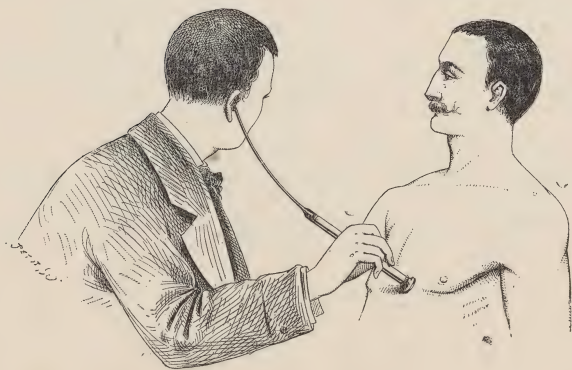
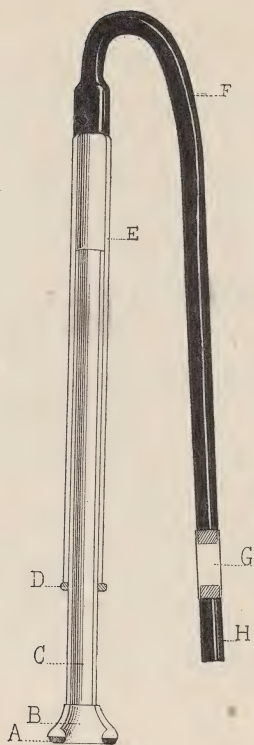


FIG. 22. — Appareil servant à déterminer les limites des organes contenus dans le thorax et l'abdomen ; le tube A est placé sur la peau, à peu près au milieu de l'organe à explorer, l'autre extrémité du tube est placée dans l'oreille de l'observateur ; si on frotte doucement l'épiderme du sujet avec le pouce, en allant du tube, vers la périphérie, on entend un son qui change brusquement de timbre quand on franchit les limites de l'organe.

fesseurs MM. Mersier, Dimanche, Racinet, Girardot, Clairier et M^{me} Meunier.

CONCLUSIONS. — 1° Les enfants apprennent en quelques minutes à faire ces exercices, et comme leur récréation se trouve augmentée de cinq minutes, ils les font avec plaisir ;

2° On ne constate plus d'attitudes vicieuses, les enfants se tiennent droits et les omoplates cessent d'être saillantes ;

3° L'état sanitaire a été supérieur, cette année, à celui des années précédentes, il y a eu beaucoup moins de manquants ;

4° Le développement est surtout très rapide chez les sujets un peu malingres (quatorze ans, voir le tableau) ;

5° Il est inutile de créer des fonctionnaires nouveaux ; les professeurs dirigeront les mouvements et les médecins des écoles contrôleront les résultats.

Si, dans toutes les écoles de France, les élèves faisaient régulièrement, chaque jour, ces exercices, le nombre des conscrits aptes au service militaire augmenterait dans une notable proportion. A une époque où la natalité diminue, ce résultat n'est pas à dédaigner.

b) **Chez les adultes.** — J'ai indiqué pour la première fois ces exercices, il y a six ans, aux auditeurs des cours que je fais à la Sorbonne : un grand nombre de professeurs de chant les ont fait suivre à leurs élèves ; toujours ils ont obtenu un développement rapide de la cage thoracique.

Ce développement se produit même chez les adultes, et je l'ai constaté chez des professeurs ayant dépassé la quarantaine.

§ V. — TRAVAUX A FAIRE

Établir des tables donnant, chez les artistes, suivant leur tessiture la relation entre le poids, la taille, le tour de poitrine et la capacité vitale.

CHAPITRE II

LE LARYNX

§ I. — Description du larynx.

1. Cartilages. — 2. Muscles.
3. Coupe histologique. — 4. Laryngoscope.

§ II. — Fonctionnement du larynx.

§ III. — Voix de tête et voix de poitrine.

CHAPITRE II

LE LARYNX

§ I. — DESCRIPTION DU LARYNX

Le larynx est situé à la partie supérieure de la trachée. Il est formé de cinq cartilages et de muscles qui font changer la position de ces cartilages les uns par rapport aux autres.

I. — Cartilages.

Premier cartilage (*fig. 23, 24, 25*). — Le dernier anneau de la trachée est surmonté d'un autre anneau ayant la forme d'une bague dont le chaton très gros est en arrière ; c'est le cartilage *cricoïde*.

Deuxième cartilage (*fig. 24 et 25*). — Au-dessus de cette bague se trouve un autre cartilage ayant la forme d'un livre ouvert, le dos du livre en avant : c'est le cartilage *thyroïde* ; le dos du livre s'appelle *la pomme d'Adam*.

Troisième et quatrième cartilages (*fig. 25*). — A cheval sur le chaton de la bague se trouvent deux petites pyramides triangulaires, les cartilages *aryténoïdes* ; ils sont essentiellement mobiles et articulés avec le cricoïde comme un cavalier avec son cheval, c'est-à-dire qu'ils peuvent aller en avant ou en arrière, se tourner à droite ou à gauche.

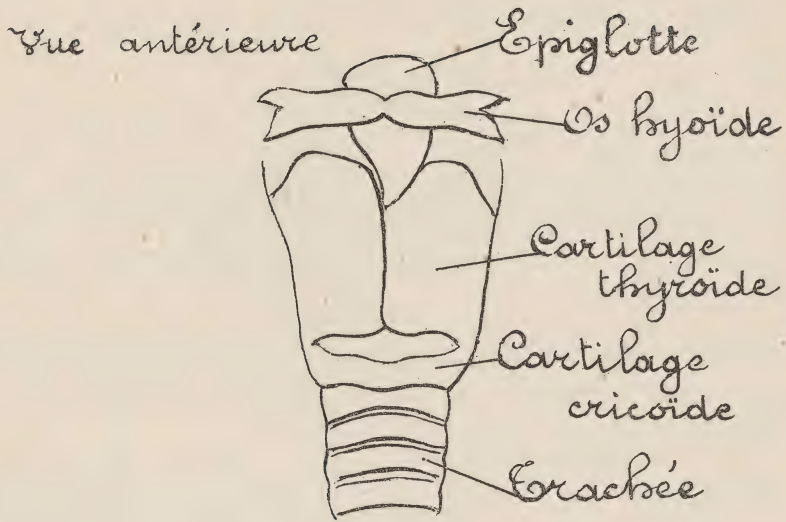


FIG. 23.

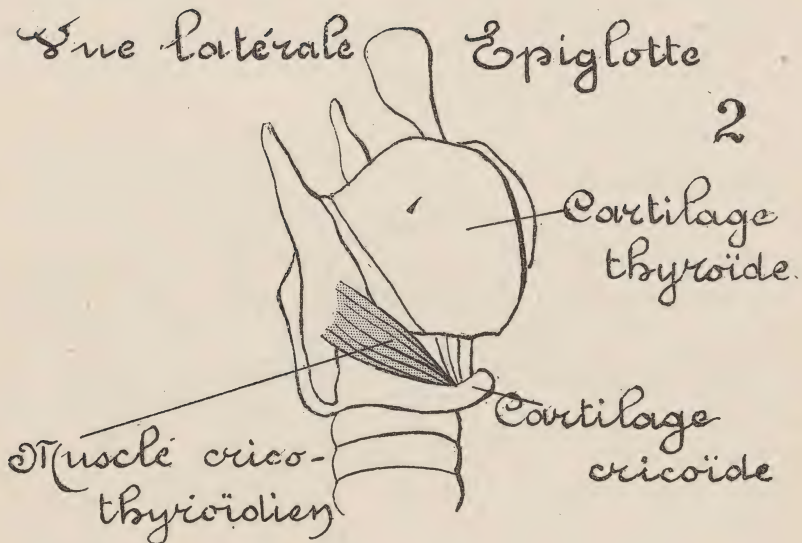


FIG. 24.

Cinquième cartilage (*fig. 23*). — L'*épiglotte* sert de couvercle au tuyau par lequel l'air s'échappe.

2. — Muscles.

Les muscles font mouvoir les cartilages les uns par rapport aux autres ; ils vont par paires, c'est-à-dire qu'il y en a un à droite et un autre pareil à gauche, l'*ary-aryténoïdien* fait seule exception ; ils portent le nom des deux cartilages sur lesquels ils s'insèrent.

Premier muscle (*fig. 24*). — Le *crico-thyroïdien* va du cricoïde au thyroïde et rapproche ces deux cartilages l'un de l'autre (voix de tête, page 45).

Deuxième muscle (*fig. 25*). — Le *thyro-aryténoïdien latéral* va de l'aryténoïde au cricoïde ; il rapproche les deux aryténoïdes et rétrécit l'espace que l'on appelle la glotte et qui est compris entre les cordes vocales.

Troisième muscle (*fig. 25*). — Le *thyro-aryténoïdien* va du thyroïde à l'aryténoïde ; sur son bord libre il devient tendineux et forme une bande blanchâtre que l'on appelle la bande vocale ou vulgairement la *corde vocale*.

Quatrième muscle (*fig. 26*). — Le *muscle ary-aryténoïdien* va d'un cartilage aryténoïde à l'autre ; il les rapproche. Ce muscle est formé de trois couches de fibres qui constituent pour ainsi dire trois muscles : l'un horizontal, l'autre allant du bas de l'aryténoïde gauche au sommet de l'aryténoïde droit, le dernier qui va de l'aryténoïde gauche au sommet de l'aryténoïde droit ; ce muscle rapproche les deux aryténoïdes et rétrécit la glotte.

Cinquième muscle (*fig. 26*). — Le *crico-aryténoïdien postérieur*, comme le cricoïde, est fixe, il fait tourner l'aryténoïde en dehors, ce qui écarte les deux aryténoïdes l'un de l'autre : il élargit la glotte ; c'est le muscle qui se contracte quand on fait une inspiration profonde.

Vue latérale avec coupe du Éthyroïde

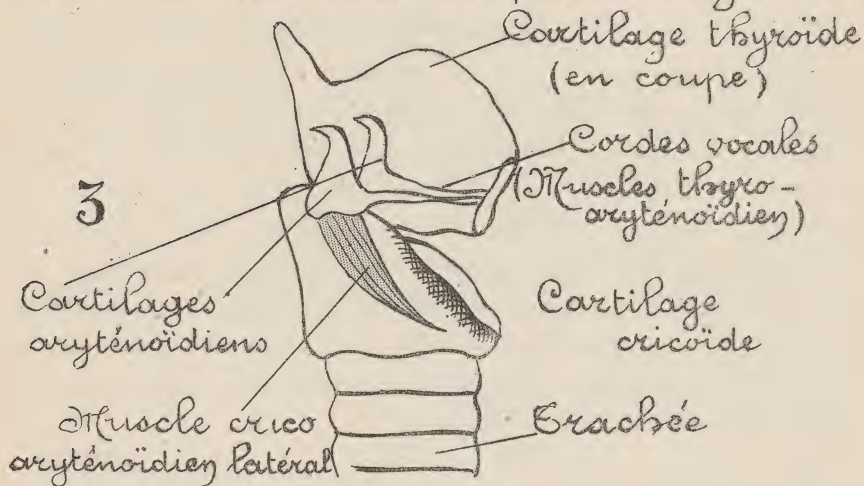


FIG. 25.

Vue postérieure

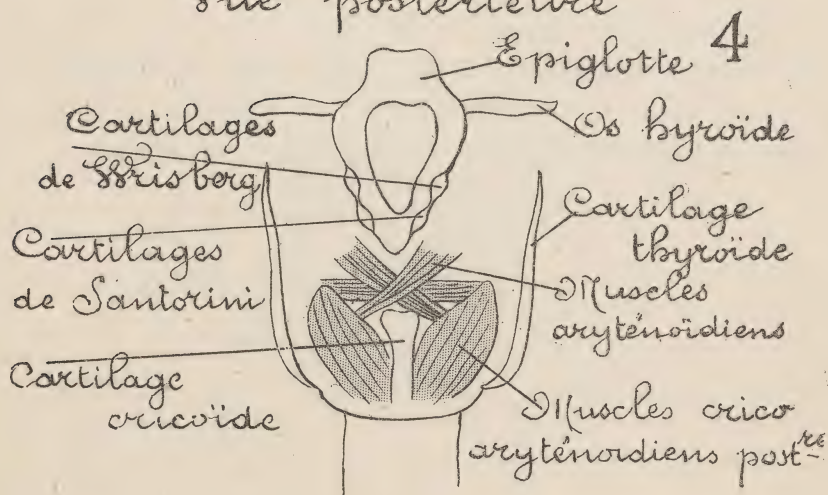


FIG. 26.

3. — Coupe histologique (*fig. 7*).

Si on fait une coupe verticale très mince du larynx en allant de droite à gauche, et si on l'examine à un fort grossissement, on voit en bas des fibres musculaires en coupe, c'est le muscle thyro-arytéoïdien qui constitue une des bandes vocales avec son rebord tendineux en dehors : au-dessus se trouve un gros repli de la muqueuse, sans fibres musculaires ; on l'appelle improprement la corde vocale supérieure pour ne pas le confondre avec le muscle thyro-arytéoïdien que l'on appelle alors la corde vocale inférieure : entre ces deux cordes vocales, inférieure et supérieure, se trouve une cavité, que l'on appelle le ventricule de Morgagni.

Sur la figure on n'a représenté que les cordes vocales d'un seul côté, celles de gauche, inférieure et supérieure.

4. — Laryngoscope (*fig. 28*).

Pour voir les cordes vocales, il faut se servir d'un petit miroir large comme une pièce de vingt sous ; on l'éclaire fortement et on le met dans la bouche du sujet en refoulant la luette et en tenant la langue du sujet avec un linge.

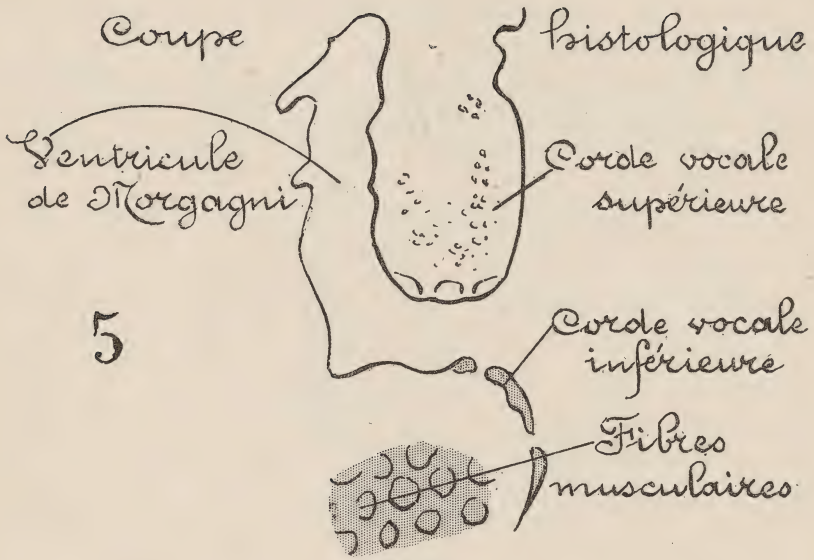


FIG. 27.

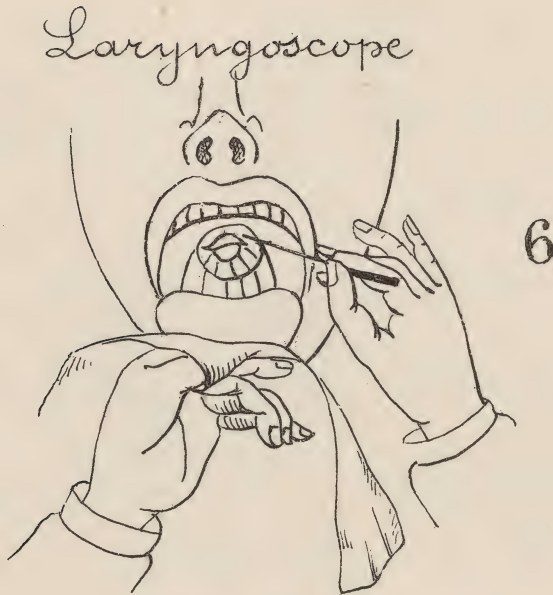


FIG. 28.

On voit dans le miroir l'image renversée des cordes vocales : si le sujet émet une note aiguë sur É, ses cordes vocales se rapprochent et l'on a la figure 29.

Si au contraire on fait respirer profondément, les cordes vocales s'écartent et l'on a la figure 30.

Vue laryngoscopique
des cordes vocales en adduction

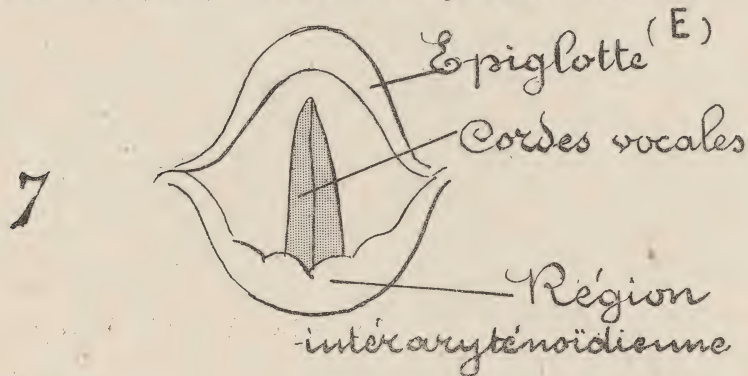


FIG. 29.

Vue laryngoscopique
des cordes vocales en abduction
(Expiration)

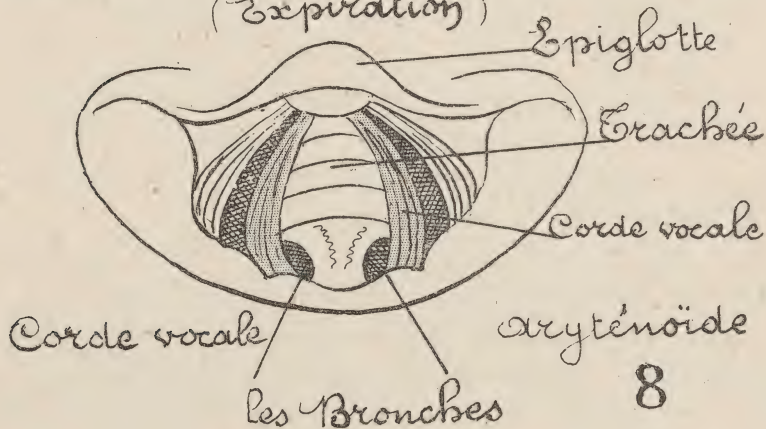


FIG. 30.

§ II. — FONCTIONNEMENT DU LARYNX

Le courant d'air qui s'échappe des poumons pendant l'expiration est continu, c'est-à-dire inaudible ; il s'agit de le rendre discontinu ou sonore : c'est le rôle du larynx. Cet organe situé à la partie supérieure de la trachée se compose essentiellement de deux bandes musculo-tendineuses allant d'avant en arrière dans un plan horizontal ; ces deux bandes se rejoignent en avant, comme le font les deux branches d'une paire de ciseaux au niveau de la vis d'articulation : elles peuvent donc soit se fermer comme des ciseaux et empêcher la sortie de l'air, soit s'écarter de manière à permettre la sortie de l'air en formant ou un V ouvert en arrière ou une fente à bords parallèles. Cet espace en V ou en fente est la glotte. A chaque rapprochement, suivi d'un écartement, correspond un arrêt et une sortie de l'air, c'est-à-dire une vibration double ; s'il y en a, par exemple, 435 en une seconde, la note émise est le la_3 normal. Les bandes vocales sont généralement nommées cordes vocales.

Les bandes vocales longues correspondent aux voix graves, (tessitures de basse et de contralto), les bandes vocales courtes aux voix aiguës (tessitures de ténor et de soprano). Chez un même sujet les bandes vocales sont constituées par un muscle (thyro-aryténoïdien) ; elles peuvent donc, comme tous les muscles, se contracter plus ou moins, c'est-à-dire être plus ou moins grosses (registres épais et mince) et plus ou moins longues (voir voix chantée).

Les intermittences dans la sortie de l'air des poumons font entrer cet air en vibration ; c'est donc l'air qui vibre ; et la voix est une vibration aéro-laryngienne : les bandes vocales par elles-mêmes, dans les conditions normales de la vie, ne font que modifier le son fondamental aérien en y introduisant des sons accessoires que l'on appelle sons harmoniques, absolument comme dans plusieurs tuyaux sonores donnant la même note le son est modifié par la nature des parois et des anches (voir timbre).

A chaque note, le larynx tout entier, épiglote comprise, change de forme ; les figures que l'on trouve dans les ouvrages classiques ne donnent qu'une idée très vague de ce qui se passe réellement dans la pratique.

Les bandes vocales n'agissent pas du tout comme des anches membraneuses en caoutchouc, et il n'y a aucune ressemblance entre les sons rendus par des anches en caoutchouc et les sons rendus par des larynx isolés.

Ces vibrations se produisent-elles au niveau de la glotte, c'est-à-dire au moment où l'air passe entre les cordes vocales, ou les ventricules de Morgagni ont-ils, comme le suppose Savart, une influence prépondérante ? C'est une question qui, pour le moment, est impossible à trancher.

On comprend que la voix peut disparaître subitement sans lésions apparentes des bandes vocales, car tous les muscles adducteurs et toutes les articulations des cartilages laryngiens sont sujets à des lésions rhumatismales qui peuvent se produire en un temps très court.

Le larynx n'est pas fixe ; il peut se déplacer verticalement (rôle des muscles sus et sous-hyoïdiens).

Dans l'émission des notes graves, le larynx s'abaisse, la glotte est plus longue et plus large, les vibrations aéro-laryngiennes se trouvent renforcées par l'air sous-glottique, c'est ce que l'on appelle la voix de poitrine. Si le diaphragme est très contracté et que le sujet sente le refoulement des viscères abdominaux, il dit qu'il a l'appui en poitrine.

Dans les notes aiguës, le larynx remonte, tous les muscles adducteurs se contractent, la glotte devient aussi étroite et aussi courte que possible par la contraction des muscles crico-thyroïdiens ; c'est ce que l'on appelle la voix de tête.

Mais, en fait, il n'y a qu'une sorte de voix : la voix aéro-laryngienne produite au niveau de la glotte, et les expressions *voix de tête* et *voix de poitrine* ne sont que des mots (voir *Tessitures*) servant à distinguer le registre aigu du registre grave.

§ III. — VOIX DE TÊTE ET VOIX DE POITRINE

Un sujet déterminé peut émettre un certain nombre de notes qui constituent la tessiture de sa voix ; aux notes graves de cette tessiture correspond ce que l'on appelle le registre de poitrine, aux notes aiguës, le registre de tête. Entre ces deux registres, il existe un passage plus ou moins marqué, c'est le mécanisme de ce passage que nous allons étudier.

1° **Fait anatomique.** — Tous les muscles intrinsèques du larynx sont innervés par le récurrent ; les deux crico-thyroïdiens sont seuls innervés par le laryngé externe ; ils ont donc une indépendance spéciale ; ces deux muscles font basculer le cartilage thyroïde sur le cricoïde en rapprochant ces deux cartilages en avant ; ce sont donc des tenseurs des cordes vocales (*fig. 31*).

2° **Fait expérimental.** — Si, au moment du passage de la voix de poitrine à la voix de tête, il y a une contraction brusque du crico-thyroïdien, l'espace compris en avant entre ces deux cartilages doit diminuer de grandeur, et l'on doit pouvoir constater cette diminution au moyen du cardiographe de Marey. Cet instrument est placé de chaque côté du cou dans l'espace limité par le thyroïde, le cricoïde et le muscle crico-thyroïdien ; les deux tambours communiquent ensemble et avec un tambour inscripteur au moyen d'un tube en Y (*fig. 31*).

Or, on constate toujours deux phénomènes différents qui sont absolument nets, que l'on fasse l'expérience sur un larynx d'homme ou sur un larynx de femme.

Premier cas. — Il y a une différence très marquée entre les deux registres ; alors il se produit une contraction brusque des deux muscles crico-thyroïdiens ; c'est le tracé I (*fig. 32*) : la courbe a deux plateaux, le plateau inférieur correspondant au registre de poitrine, le plateau supérieur, au registre de tête.

Deuxième cas. — Le passage de la voix de poitrine à la voix de tête est moins marqué, alors la courbe monte peu à peu,

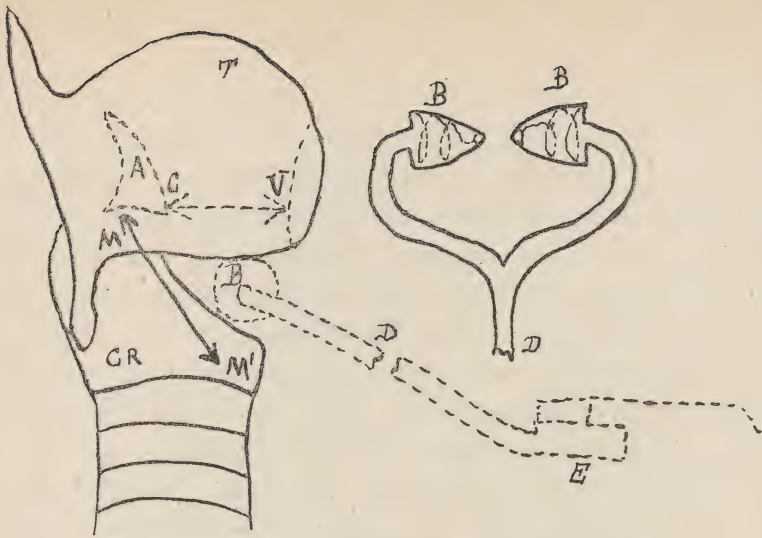


FIG. 31. — Vue latérale schématique du larynx.

A, cartilage aryténoïde ; — B, B, tambours de Marey, communiquant par le tube D avec un tambour à levier E ; — CV, corde vocale ; — MM', muscle allant du cricoïde CR au thyroïde T (muscle crico-thyroïdien).

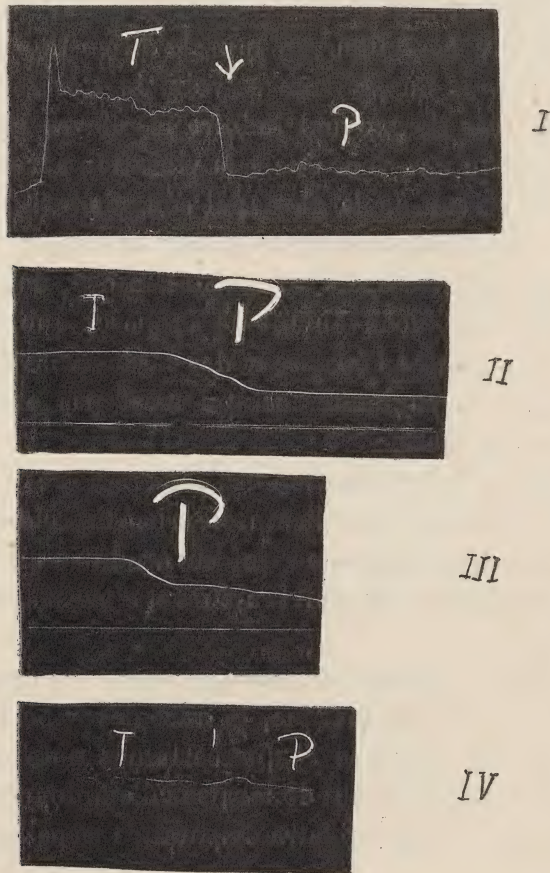


FIG. 32. — Différents tracés montrant le passage de la voix de poitrine P à la voix de tête T. II et III, larynx d'hommes ; — I et IV, larynx de femmes.

et chez certains artistes, elle est presque continue sans raccordement; les tracés II, III et IV montrent bien les différences intermédiaires. Le crico-thyroïdien peut donc ou se contracter brusquement, ou se contracter peu à peu de manière à produire la tension progressive des cordes vocales. Si, en même temps, on photographie les vibrations de la voix, non seulement on connaît les notes qui appartiennent au registre de poitrine et au registre de tête, mais encore on détermine les notes qui manquent, c'est-à-dire les trous de la voix : le sujet qui a fourni le tracé I a une voix tremblée, d'inégale intensité et deux notes manquent, au moment du passage du plateau inférieur au plateau supérieur. Au contraire, le sujet qui a fourni le tracé IV a une voix régulière et il ne manque pas une seule note (*fig.* 21, page 29).

Les professeurs ont donc bien observé ce phénomène de passage dû à la contraction du muscle crico-thyroïdien, mais les noms de voix de poitrine et voix de tête semblent assez mal choisis, car ils peuvent induire les élèves en erreur : il n'y a en effet qu'une voix due à la vibration aéro-laryngienne produite au niveau de la glotte; il conviendrait mieux de se servir du terme registre grave et registre aigu; en effet, les expressions, registre épais et registre mince, dont on se sert quelquefois ont l'inconvénient de supposer que l'on connaît bien la relation entre l'épaisseur des cordes vocales et la note fondamentale laryngienne, ce qui n'est pas exact, pour le moment du moins.

Cette théorie de la formation des deux registres a été souvent combattue; la contraction du muscle crico-thyroïdien n'est peut-être pas le seul phénomène qui se produise au moment du passage, mais elle se produit toujours et elle est facile à mettre en évidence.

CONCLUSION. — Quand le passage entre les deux registres, grave et aigu, est très marqué, le tracé des vibrations montre que la voix est tremblée et que certaines notes font défaut; les professeurs de chant ont donc raison d'employer les méthodes qu'ils croient utiles pour faire disparaître ce passage.



CHAPITRE III

LES RÉSONNATEURS SUPRA-LARYNGIENS

§ I. — Le pharynx.

§ II. — Le nez.

§ III. — La bouche.

§ IV. — Travaux à faire.

CHAPITRE III

LES RÉSONNATEURS SUPRA-LARYNGIENS

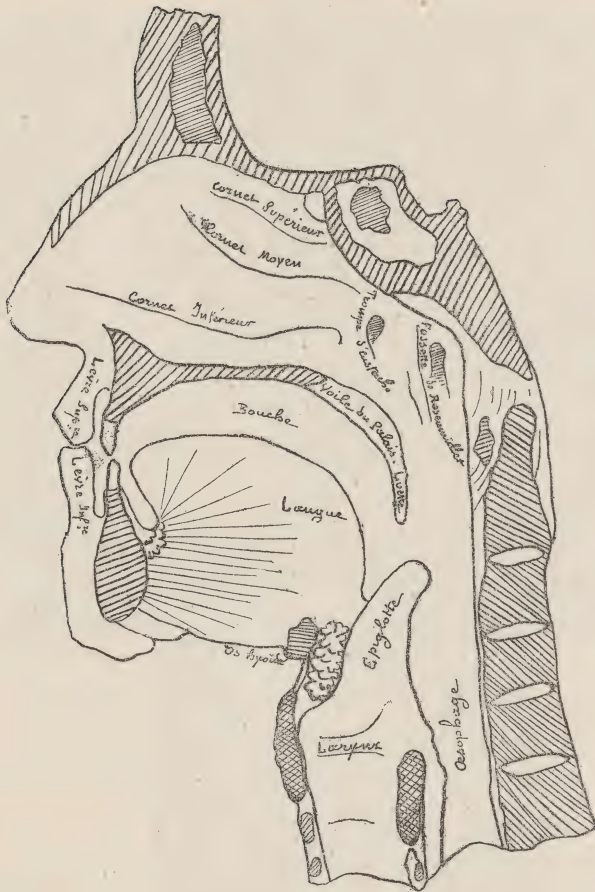
La vibration aéro-laryngienne qui se produit au niveau de la glotte est ou renforcée ou transformée par les cavités supra-laryngiennes, le pharynx, le nez, la bouche.

§ I. — LE PHARYNX

Le pharynx est situé immédiatement au-dessus du larynx : c'est un carrefour où aboutissent quatre conduits, deux en bas, deux en haut : en bas et en arrière, l'œsophage aplati (aliments) ; en bas et en avant, le larynx (air) ; en haut, nous trouvons deux autres conduits, la bouche en avant, le nez au-dessus de la bouche dont il est séparé par le palais fixe et le voile du palais mobile ; le voile du palais pouvant à volonté faire passer l'air qui vient des poumons, soit par le nez, soit par la bouche, soit par les deux en même temps.

Le pharynx change de forme continuellement pendant la phonation : non seulement il diminue ou augmente de largeur (piliers du voile du palais), mais encore il diminue ou augmente de hauteur.

En effet, le larynx est essentiellement mobile ; il monte ou il descend suivant la note émise ; ces mouvements sont produits par un grand nombre de muscles : les uns vont du larynx à l'os hyoïde (*fig. 23, p. 37*) (le seul os qui ne s'articule pas avec un autre os) ; les autres, de l'os hyoïde à la langue, au maxillaire inférieur et à la base du crâne, de manière que tout mouvement du maxillaire, de la langue ou du pharynx a sa répercussion sur la position du larynx et, par conséquent, sur la note laryngienne. On prévoit donc dès maintenant l'importance énorme qu'aura sur la pureté du son laryngien la position de la langue et du maxillaire inférieur.



Pharynx, nez et bouche.

FIG. 33. — Coupe antéro-postérieure passant par le milieu du nez et montrant l'anatomie normale du pharynx (orifice de la trompe d'Eustache) et des fosses nasales (cornets supérieur, moyen et inférieur); en arrière de l'orifice de la trompe d'Eustache se trouve la fossette de Rosenmüller; l'air venant du larynx peut sortir par la bouche ou, par le nez, derrière la luette.

§ II. — LE NEZ

Le nez est séparé en deux par une cloison théoriquement rectiligne et plane; les deux parois externes sont très anfractueuses (cornets supérieurs, moyens et inférieurs). Le nez communique par des orifices très étroits avec six cavités : quatre très petites, les deux sinus frontaux entre les deux yeux et les deux sinus ethmoïdaux au-dessous; deux plus grandes, les deux sinus maxillaires; un de chaque côté du nez. Ces six cavités à état normal ne semblent être d'aucune utilité pour la phonation.

§ III. — LA BOUCHE

La bouche est une cavité que traverse l'air vibrant venant du larynx avant de s'échapper à l'extérieur. Cette cavité, dont la forme est essentiellement variable, est limitée : en haut, par le palais fixe et le voile du palais mobile; en bas, par la langue mobile et le plancher de la bouche; sur les côtés, par les dents et les joues; en arrière, se trouve le pharynx, en avant se trouve l'orifice de sortie dont les lèvres rendent la forme tout à fait variable.

Le meilleur moyen, pour étudier cette cavité sur le vivant, est d'en faire le moulage lorsqu'elle a pris une forme déterminée correspondant à une voyelle, O par exemple.

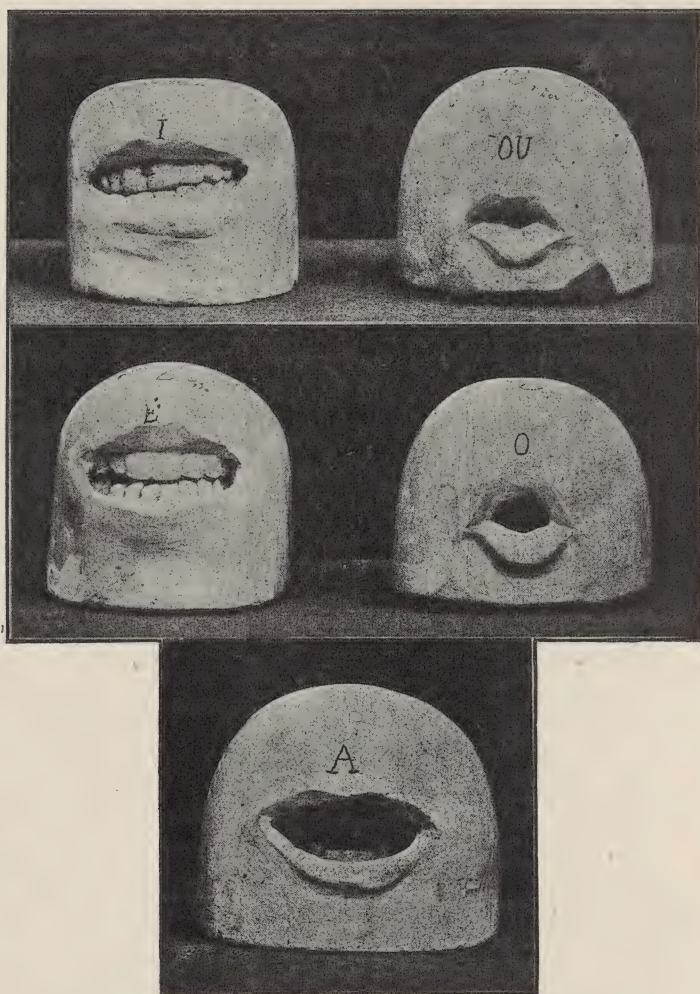


FIG. 34. — Moulages de la cavité buccale prononçant les voyelles.

Notes rendues par la cavité buccale :

	OU	O	A	É	I
1 ^{er} moulage.....	<i>ré</i> ₃	<i>fa</i> ₃	<i>sol</i> ₃	<i>si</i> ₃	<i>ré</i> ₄
2 ^e moulage.....	<i>si</i> ₂	<i>sol</i> ₃	<i>la</i> ₃	<i>ul</i> ₄	<i>si</i> ₃

On emploie, à cet effet, une matière dont se servent les dentistes, et qui s'appelle du stents, c'est une substance très dure à la température ordinaire et molle comme du beurre vers 35°; elle est encore plus malléable quand elle a déjà servi un certain nombre de fois; elle fond alors à une température plus basse.

Pour mouler la cavité buccale prononçant O, par exemple, on emplit la bouche de stents fondu, et l'on donne à la bouche la forme qu'elle doit avoir en prononçant cette voyelle; alors on écarte un peu la joue, on fait passer un courant d'eau froide, le stents durcit immédiatement et on le laisse tomber dans un vase plein d'eau (*fig. 34 bis*).

Il n'y a donc plus, pour avoir la forme de la cavité buccale, qu'à faire un moulage en mettant du plâtre autour du stents.

On prend d'abord sur un lit de plâtre la forme de la partie inférieure du moule : lorsque le plâtre a une consistance suffisante, on enlève le stents, et sur un deuxième lit de plâtre on prend la forme de la face supérieure du stents; le stents étant enlevé, on réunit les deux moulages en plâtre et l'on a le moulage de la cavité buccale prononçant une voyelle (*fig. 34*).

On peut laisser indépendantes les faces supérieure et inférieure du moulage, de manière à faire voir à l'élève la position exacte que doit prendre sa langue au moment de l'émission de la voyelle (*fig. 35*).



FIG. 34 bis. — Moulage en stents de l'intérieur de la bouche.

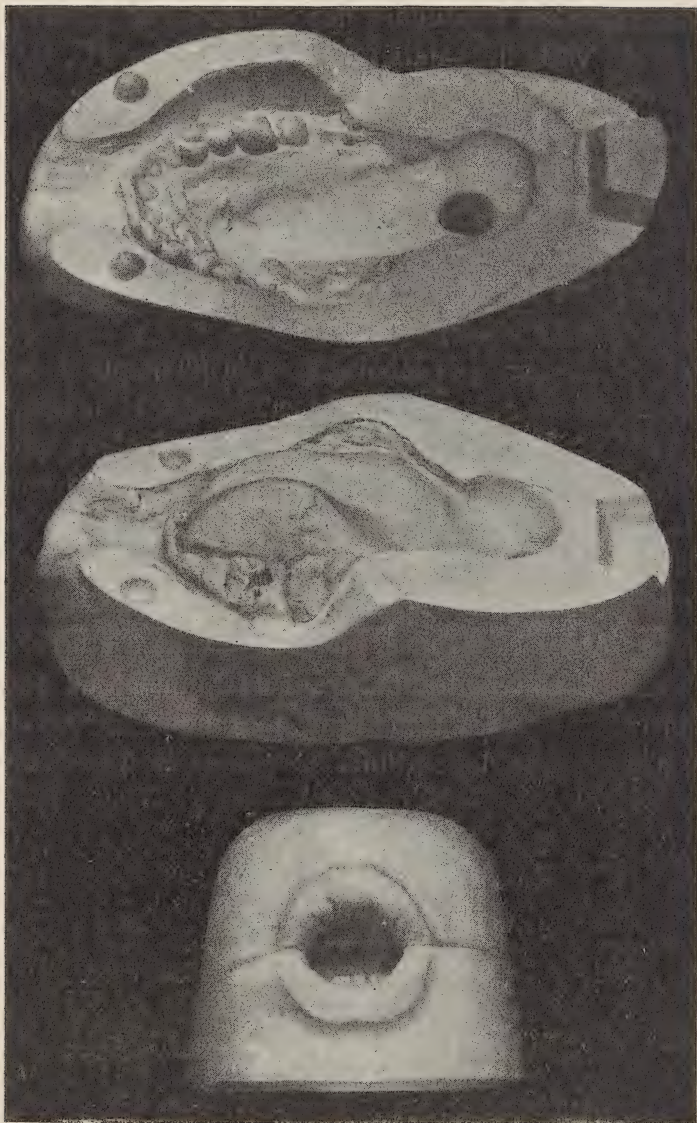


FIG. 33. — Moulage de la bouche prononçant la voyelle EU; les parties supérieure et inférieure du moulage peuvent se séparer, ce qui permet de voir la position de la langue.

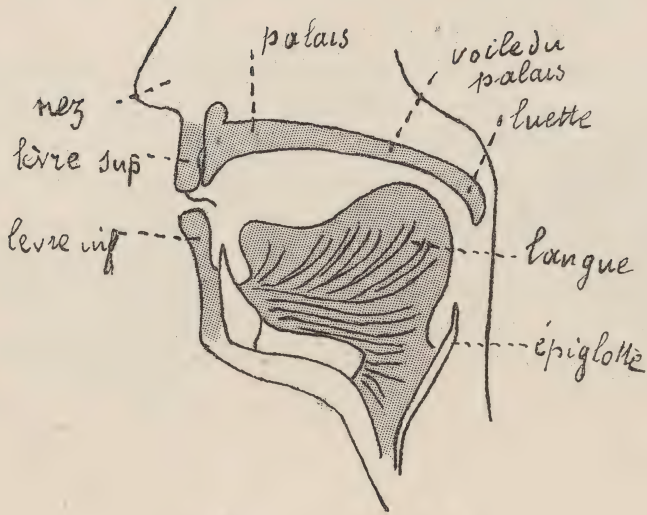
Les figures suivantes (36, 37, 38, 39) montrent en coupe les formes très différentes que peut prendre l'intérieur de la cavité buccale sous l'influence des variations de position de la langue et du voile du palais : pour les voyelles OU, O, A, on a mis au-dessous de chaque dessin la forme que prennent les lèvres pendant l'émission du son.

Non seulement la masse d'air intrabuccale varie de volume, mais encore elle varie de forme ; l'orifice de sortie change pour chaque note et chaque voyelle : toutes ces variations renforcent ou transforment la vibration aérienne qui s'est formée dans le larynx.

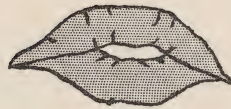
Il n'existe pas dans nos laboratoires de physique de pavillon ou de résonnateur qui puisse être comparé à la bouche.

Aussi n'y a-t-il pas de vibration plus complexe que celle qui, s'étant produite dans le larynx, a été ensuite renforcée ou transformée par la cavité buccale pour produire le langage articulé.

C'est la formation des éléments de ce langage, c'est-à-dire les voyelles et les consonnes, que nous avons à étudier maintenant ; mais il convient auparavant de rappeler en quelques mots certains termes d'acoustique dont nous aurons à nous servir ; c'est ce que nous allons faire dans le quatrième chapitre.



Coupe OU



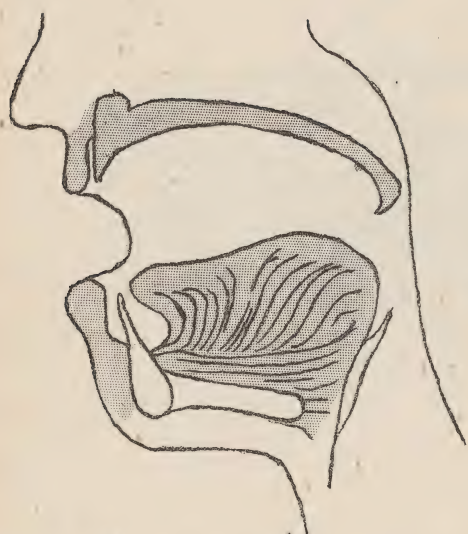
Face OU

FIG. 36.

§ IV. — TRAVAUX A FAIRE

Faire une méthode de chant, en montrant par des coupes de la cavité buccale (fig. 36 et 37) la position que doit prendre la langue à chaque note et à chaque voyelle : au-dessous on mettrait la position correspondante des lèvres.

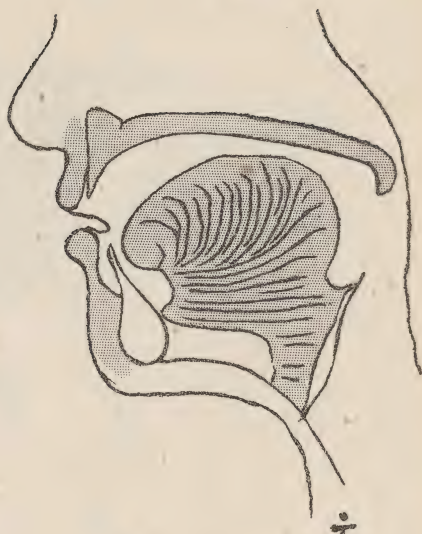
On pourrait faire des cinématographies : pour les coupes, avec les rayons X, de manière à voir la langue : pour les lèvres, avec la lumière ordinaire, de manière à voir l'orifice buccal.



Coupe A



Face A



Coupe I



Face I

FIG. 37.

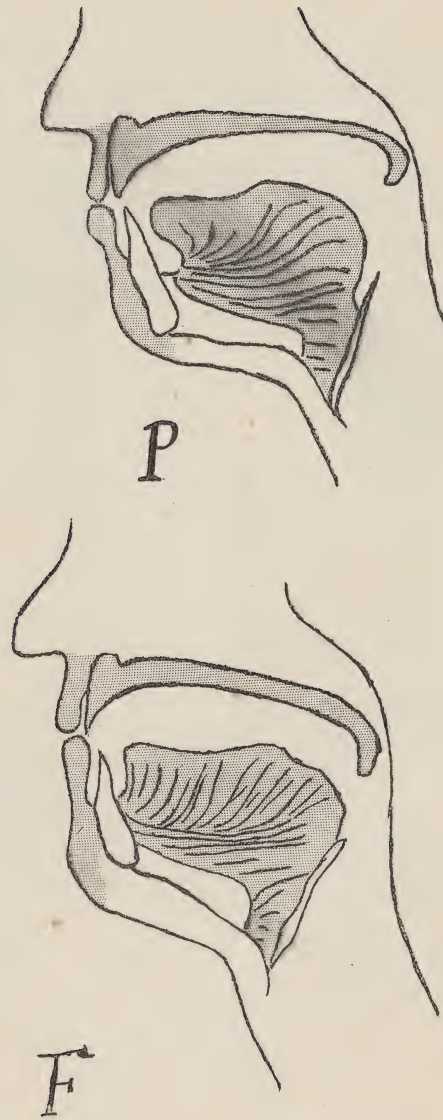


FIG. 38.

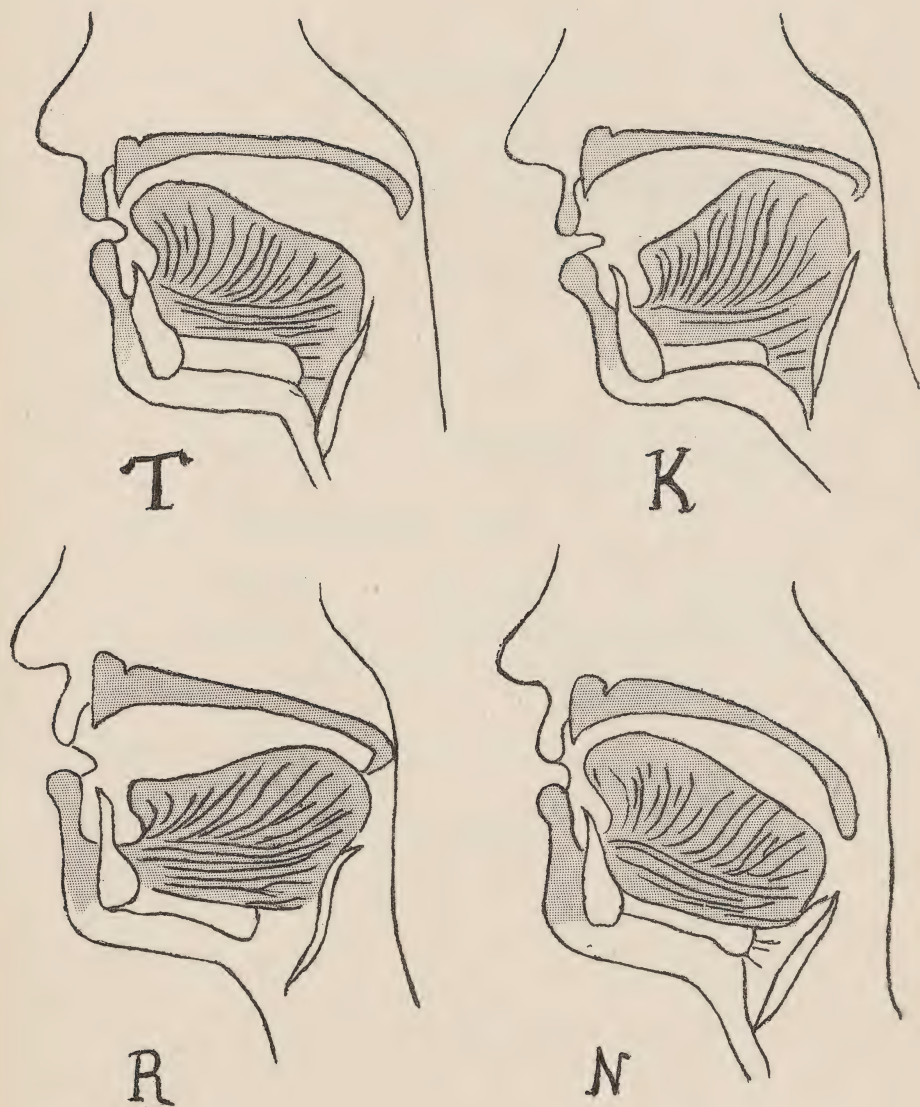


FIG. 39.

CHAPITRE IV

VIBRATIONS ACOUSTIQUES

§ I. — Division.

1. Bruits. — 2. Musique. — 3. Parole.

§ II. — Qualités du son.

1. Durée. — 2. Intensité. — 3. Timbre.
4. Hauteur. — 5. Tableau des sons entendus,
musicaux et non musicaux.

§ III. — Propagation du son.

§ IV. — Travaux à faire.

CHAPITRE IV

VIBRATIONS ACOUSTIQUES

§ I. — DIVISION

L'oreille peut entendre trois sortes de vibrations : les *bruits*, les *vibrations musicales* et la *parole*.

Si l'on inscrit le *bruit* provenant de la chute d'une canne, d'une planche ou d'un objet quelconque, on obtient une ligne ondulée, continue, tout à fait irrégulière ; l'amplitude des oscillations, d'abord très grande, va peu à peu en diminuant : *le bruit est donc produit par une vibration continue, irrégulière, non périodique*.

Dans la seconde catégorie, nous rangeons les *vibrations musicales*, dont le type est donné par le diapason : une plume placée à l'extrémité d'un diapason en vibration inscrit sur une feuille de papier mobile une courbe tout à fait régulière qu'on appelle une sinusoïde. Si plusieurs vibrations sinusoïdales se produisent ensemble, elles se superposent pour donner naissance à des courbes de plus en plus compliquées ; leur superposition produira sur l'oreille une impression plus ou moins agréable. C'est ce qui donne lieu au « timbre » des divers instruments de musique ; c'est ce qui fait que le *la* donné par une flûte ne ressemble pas au *la* donné par un violon : *les vibrations musicales sont donc continues, régulières, périodiques*.

Dans la troisième catégorie se trouvent les *vibrations de la voix* : ce sont les seules que nous étudierons.

§ II. — QUALITÉS DU SON

1° **Durée.** — Un son n'est pas instantané, il continue à se produire pendant un temps plus ou moins long : si on prononce successivement aussi rapidement que possible les trois voyelles I, É, A, on trouve que I dure $\frac{4}{25}$ de seconde, É $\frac{1}{25}$, A $\frac{2}{25}$.

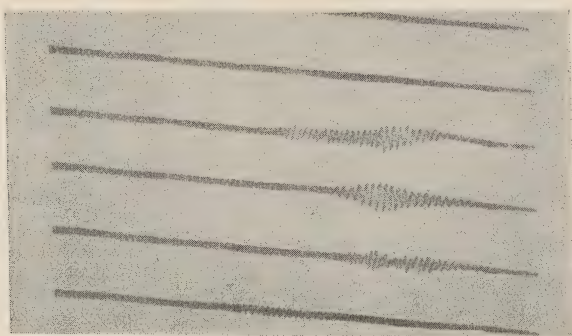


FIG. 40. — Bruits : petits accès de toux.

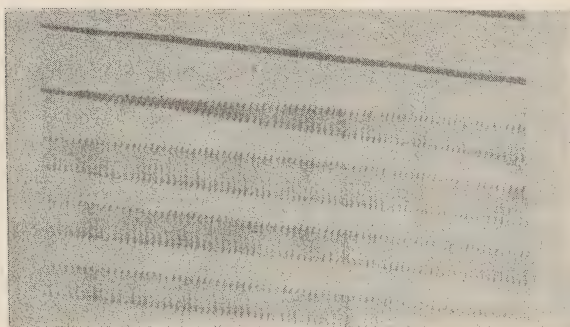


FIG. 41. — Musique : diapason.

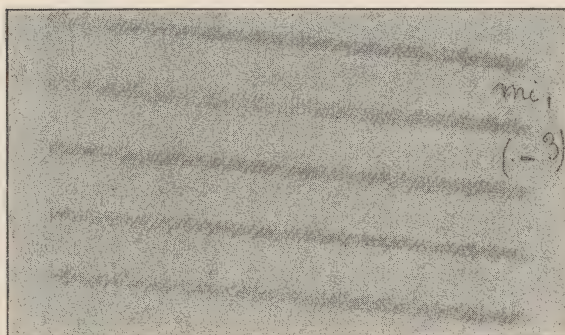


FIG. 42. — Parole : voyelle A.

2° **Intensité.** — L'intensité d'un son dépend de beaucoup de circonstances, parmi lesquelles on peut citer les suivantes :

a) *La surface du corps sonore.* — Le son d'une cloche porte plus loin que le son d'une corde donnant la même note ; c'est pour cela que l'on renforce le son de la corde par une caisse de résonance (violon) ;

b) *L'amplitude des vibrations.* — L'intensité est proportionnelle au carré de l'amplitude ;

c) *Le milieu ambiant.* — Les sons ne se propagent pas dans le vide, ils se propagent mieux dans l'air comprimé, dans les liquides et dans les solides ;

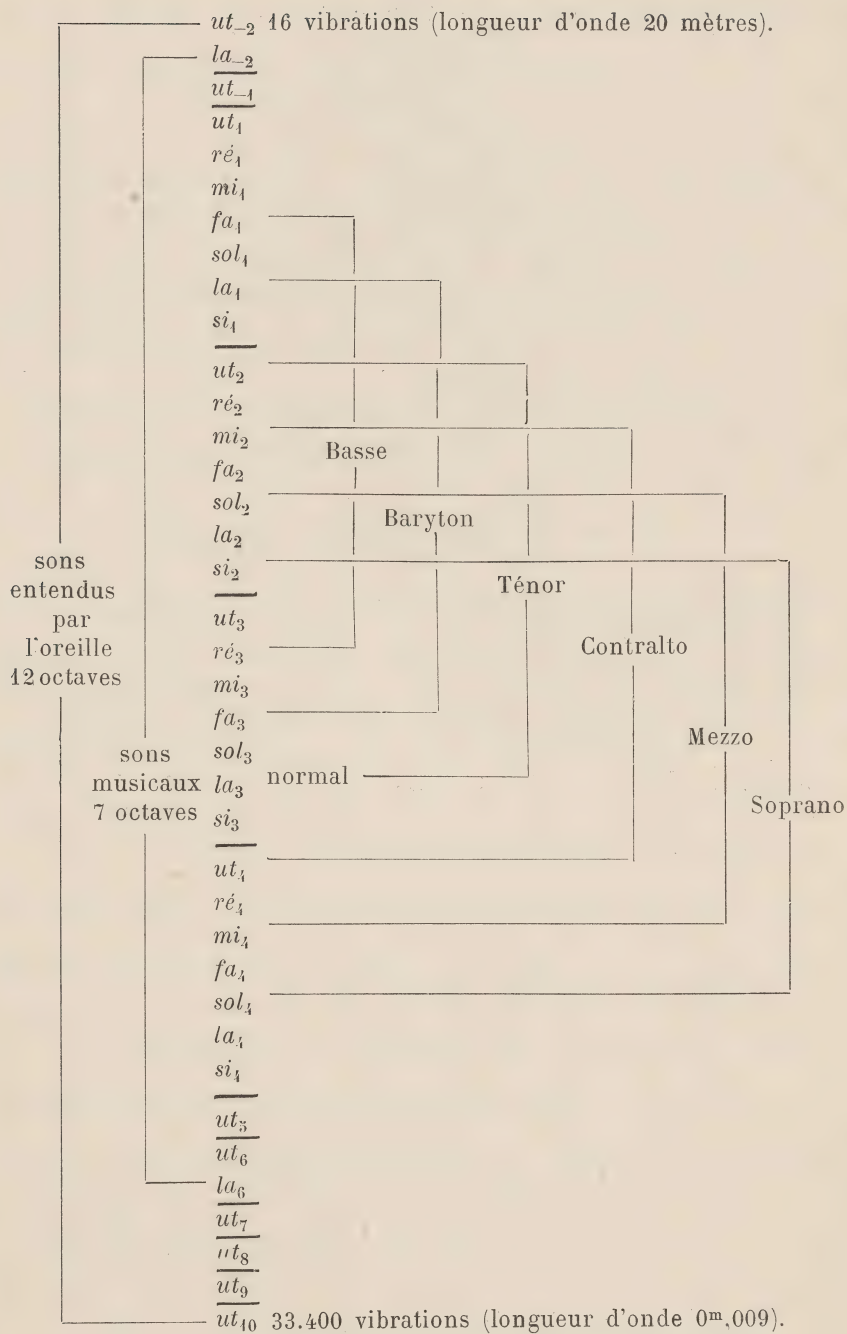
d) *La distance.* — On admet que l'intensité du son perçu est en raison inverse du carré de la distance à laquelle on se trouve du corps sonore.

3° **Timbre.** — Il dépend de sons secondaires qui se produisent en même temps que le son fondamental. On les appelle sons harmoniques ; ils sont produits par 2, 3, 4, 5, ..., N fois plus de vibrations que le son fondamental ; cette qualité permet de distinguer entre eux les sons des divers instruments. Pour analyser un son, on peut se servir des résonnateurs.

Un résonnateur est un appareil limitant une masse d'air de volume et de forme déterminés ; il entre en vibration lorsque le seul son qu'il peut rendre se produit dans le voisinage (ce n'est pas rigoureusement exact).

4° **Hauteur.** — Elle dépend du nombre de vibrations qui sont produites en une seconde. Pour classer les sons d'après leur hauteur, il fallait prendre un point de départ : on est convenu, en France, de rapporter les vibrations au diapason donnant 435 vibrations doubles à la seconde, on l'appelle le *la* normal ou la_3 .

Tous les sons se divisent en audibles et inaudibles ; les audibles se divisent en non musicaux et musicaux. Une gamme est une série de sept sons qui se distinguent entre eux par le rapport du nombre de leurs vibrations.



En partant de la gamme 3, qui contient le la_3 normal, chaque gamme a son numéro de classement en dessus ou en dessous de 3; au-dessous de 1, les indices sont négatifs.

La limite des sons perceptibles va de 16 (ut_{-2}) à 33.400 vibrations (ut_{10}), c'est-à-dire 12 octaves; celle des sons musicaux va de 27 (la_{-2}) à 3.400 vibrations (la_6), c'est-à-dire 7 octaves.

On mesure la hauteur du son, c'est-à-dire le nombre de vibrations à la seconde, soit directement (méthode graphique), soit par l'unisson avec un corps sonore dont on connaît le nombre de vibrations (sirène).

REMARQUE. — Certains auteurs introduisent l'octave 0 (zéro), et alors on a ut_{-1} , ut_0 , ut_1 , ut_2 , ... au lieu de ut_{-2} , ut_{-1} , ut_1 , ut_2 , ...

§ III. — PROPAGATION DU SON

Le son se propage par des vibrations de l'air et non par des transports d'air (tube de Laurens, liège, fumée). Il se réfléchit (écho, acoustique des salles) et se réfracte comme la lumière.

La vitesse du son dans l'air est 333 mètres par seconde environ.

La vitesse d'un vent qui renverserait les édifices les plus solides serait de 50 mètres environ à la seconde.

La formule $L = \frac{V}{N}$ donne la relation entre la vitesse du son V sa hauteur N et la longueur d'onde L : la longueur d'onde des sons perçus les plus graves est 20 mètres (ut_{-2}), celle des sons entendus les plus aigus (ut_{10}) 9 millimètres.

La formule $L = \frac{V}{N}$ permet de déterminer la hauteur des sons inaudibles; pour cela, on met de la poussière de liège dans un tube ouvert aux deux bouts et l'on produit le son inaudible à une extrémité, le liège se met par petits tas d'égale longueur; la longueur d'un tas donne L ; V est le même pour tous les sons, 333 mètres (utilité pour les orchestres); on a $N = \frac{V}{L}$.

§ IV. — TRAVAUX A FAIRE

On sait que, dans l'air extérieur, on entend beaucoup mieux les sons lorsque le vent porte, c'est-à-dire lorsque la direction du son et la direction du vent sont les mêmes : or la vitesse maxima du vent est environ 30 mètres par seconde : celle du son 333 mètres par seconde : l'influence de la vitesse du vent semblerait donc devoir être très faible.

Comme il n'en est pas ainsi, il faudrait chercher la cause de cette influence : peut-être la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans l'atmosphère a-t-elle aussi une certaine importance ? De plus, dans une salle de théâtre, il y a un courant d'air ascendant qui s'échappe par la cheminée d'appel au sommet du plafond : il faudrait chercher si les qualités acoustiques changent lorsque la salle est fraîche ou lorsqu'elle est échauffée à la fin du spectacle.

Ce courant d'air ascendant pourrait expliquer pourquoi on entend mieux aux places situées en haut du théâtre.

CHAPITRE V

LES BASES SCIENTIFIQUES DE L'ENSEIGNEMENT DU CHANT THÉORIE DE LA FORMATION DES VOYELLES

§ I. — Analyse des voyelles.

1. Méthode auriculaire, théorie de Helmholtz.
2. Méthodes mécaniques. — 3. Méthodes électriques.
4. Méthodes photographiques.

§ II. — Synthèse des voyelles.

§ III. — Expériences de physiologie.

1. Sur la bouche. — 2. Sur le larynx.

§ IV. — Définition des voyelles.

1. Le larynx seul peut former les voyelles.
2. La bouche sert à les renforcer ou à les transformer.
3. A chaque voyelle émise sur une note donnée correspond une forme de cavité buccale.

§ V. — Conclusions.

CHAPITRE V

LES BASES SCIENTIFIQUES DE L'ENSEIGNEMENT DU CHANT

THÉORIE DE LA FORMATION DES VOYELLES

§ I. — ANALYSE DES VOYELLES

1. — Méthode auriculaire. — Théorie de Helmholtz.

Nous nous occuperons uniquement des voyelles fondamentales OU, O, A, É, I.

Pour étudier les vibrations qui les constituent, on s'est servi de plusieurs méthodes ; elles peuvent être rangées en quatre classes : première classe : la méthode auriculaire, autrement dit méthode d'audition directe ; seconde classe : les méthodes mécaniques ; troisième classe : les méthodes électriques ; quatrième classe : les méthodes photographiques.

Examinons d'abord la *méthode auriculaire*. Pendant longtemps l'oreille a été le seul moyen d'analyse ; en effet, la photographie n'était pas suffisamment perfectionnée ; on était obligé de faire soi-même les plaques ; elles demandaient un certain temps pour être impressionnées, et l'on était réduit à étudier les vibrations avec l'oreille.

Lorsque, par exemple, on produisait la voyelle A sur une note donnée, un observateur ayant l'oreille musicale disait : vous avez produit la voyelle A sur la note la_3 , si l'on avait donné le *la* normal.

Il vous disait de plus : cette note fondamentale était accompagnée de tel et de tel son, c'est-à-dire : vous avez produit un deuxième et troisième son harmonique (un son harmonique étant celui qui a 2, 3, 4, ... fois plus de vibrations que le son fondamental).

Il y avait ainsi en Allemagne, où l'on faisait ces expériences,

des observateurs ayant l'oreille tellement fine qu'ils pouvaient distinguer douze sons se produisant dans le même moment, avec des cordes minces, qui donnent les harmoniques supérieurs avec force, Helmholtz pouvait reconnaître jusqu'au seizième son partiel. Tout le monde n'a pas l'oreille aussi bonne.

La méthode auriculaire avait un autre inconvénient : c'est que deux expérimentateurs n'étaient pas toujours d'accord ; vers cette même époque il y eut des discussions très intéressantes entre deux savants allemands, Helmholtz et Kœnig, qui s'occupaient spécialement de ces questions ; comme ils n'avaient pas d'appareils de contrôle, ils ne purent jamais se mettre d'accord : l'un entendait d'une façon, l'autre d'une autre.

On dit souvent qu'il ne faut discuter ni des goûts, ni des couleurs ; mais discuter des sons est encore bien plus difficile.

C'est en se servant de l'oreille comme moyen de contrôle que de nombreux expérimentateurs ont cherché quelles étaient les conditions nécessaires pour produire les voyelles. Helmholtz a soutenu la théorie suivante : les cordes vocales agissent comme des anches membraneuses qui, en vibrant, donnent une note fondamentale accompagnée d'un grand nombre d'harmoniques ; lorsqu'on parle ou qu'on chante, la cavité buccale prend une forme déterminée et constante pour chaque voyelle ; à cette forme correspond une note ; cette note, se trouvant dans la série des harmoniques du larynx, est renforcée : c'est la *vocable* ; la réunion de la note fondamentale laryngienne avec la vocable supra-laryngienne constitue la voyelle.

Il en résulte ceci :

1° Chaque note laryngienne est accompagnée d'un grand nombre d'harmoniques ;

2° Chaque voyelle a une vocable fixe, toujours en rapport harmonique avec la note laryngienne ;

3° La réunion de la note avec la vocable constitue la voyelle.

Mais, lorsque les expérimentateurs ont voulu chercher la vocable de chaque voyelle, chacun d'eux en a trouvé une différente.

Les résultats obtenus sont réunis dans le tableau suivant :

	MÉTHODE	OU	O	A	È	I
Donders	<i>Écouteait</i> la voyelle chuchotée.	fa ₃	ré ₃	si ₃	ut ₃	fa ₄
Auerbach	<i>Écouteait</i> le son rendu par le larynx frappé avec le doigt, la bouche venant de prononcer la voyelle.	fa ₂	la ₃	fa ₄	la ₄	fa ₃
Helmholtz	<i>Écouteait</i> le son de la voyelle renforcé par un résonnateur.	fa ₂ , ré ₆	si ₃	si ₄	fa ₃ , si ₃	fa ₂ , ré ₆
Kœnig	<i>Écouteait</i> le renforcement d'un diapason vibrant en avant de la bouche venant de prononcer la voyelle.	si ₂	si ₃	si ₄	si ₅	si ₆
Bourseul	<i>Écouteait</i> le son rendu par les dents frappées avec le doigt, la bouche venant de prononcer la voyelle.	ut ₄	sol ₃	mi ₂	fa ₃	?
Hermann	Méthode graphique.	ut ₄ , ré ₄	ré ₄ , mi ₄	sol ₄	si ₅ , ut ₆	ré ₆ , sol ₆

De plus, lorsqu'on a voulu faire la synthèse, il a été absolument impossible de reproduire É et I; O et A ont été assez médiocres et OU n'était pas très bon.

Ces insuccès dans les expériences de synthèse prouvent que

les conditions posées par Helmholtz, pour faire une voyelle, sont peut-être nécessaires, mais qu'elles ne sont pas suffisantes; de plus, nous allons voir que cette théorie est en contradiction formelle avec les expériences graphiques; celles-ci nous prouveront que le vocable n'est pas fixe et que l'on peut faire la même voyelle non seulement avec beaucoup de formes buccales différentes, mais même sans résonnateur buccal. La voyelle se forme dans le larynx, et la bouche ne sert qu'à la renforcer ou à la transformer.

2° Méthodes mécaniques.

Tous les appareils que l'on emploie sont semblables (*fig. 43*) ; ils se composent d'une surface vibrante devant laquelle on parle ; les déplacements de cette surface étant assez faibles ($1/10$ de millimètre environ), on augmente leur grandeur par différents procédés : tantôt c'est un levier dont la grande branche inscrit une courbe sur une feuille de papier mobile ; on a un tambour de Marey (*fig. 43*).

Tantôt c'est un style qui pénètre plus ou moins profondément dans un cylindre de cire : c'est un phonographe (*fig. 44*).

Tantôt c'est une flamme de gaz acétylène qui entre en vibration ; on la photographie sur une feuille de papier sensible qui se déplace d'un mouvement continu derrière l'objectif : c'est la capsule de Kœnig (*fig. 44*). Seulement, comme on désire avoir des tracés de grande amplitude, on est conduit, pour obtenir un déplacement assez grand de la plaque vibrante, à parler dans une embouchure qui concentre les vibrations et les transmet par un tube jusqu'à la plaque.

Au fond, tous ces appareils sont identiques, et ils devraient donner des résultats comparables entre eux.

Or, il n'en est rien ; il n'y a pas deux tracés qui se ressemblent ;

Il s'agit de chercher les causes de ces divergences.

Il y en a deux principales : 1° les appareils n'inscrivent pas

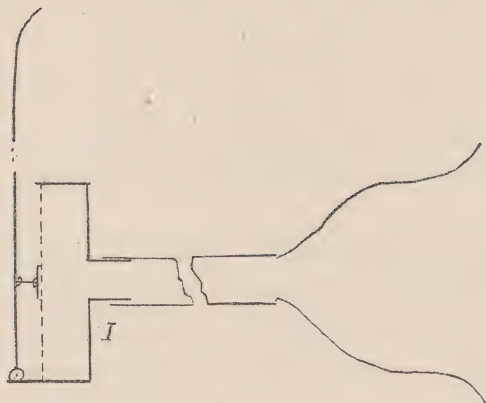


FIG. 43. — Appareil graphique à levier ordinaire.

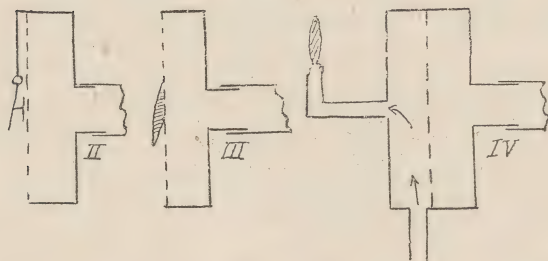


FIG. 44. — Appareils graphiques à levier modifié.

- II. Levier remplacé par un miroir et un rayon lumineux.
- III. Levier remplacé par un style (phonographe).
- IV. Levier remplacé par une flamme (capsule manométrique).

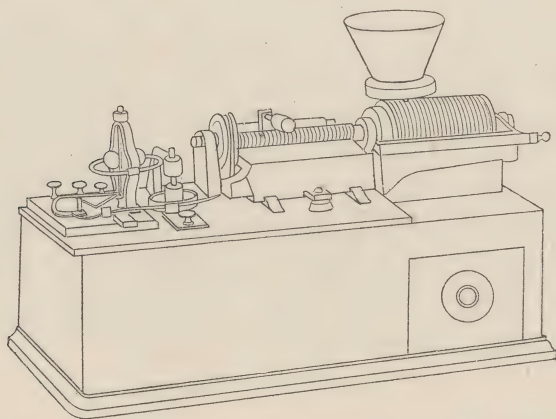


FIG. 45. — Phonographe ne transformant pas les vibrations.

toutes les vibrations de la voix ; 2° ils inscrivent des vibrations qui n'existent pas.

Nos instruments se conduisent donc un peu comme des journalistes qui viennent nous interroger ; dans leurs articles ils ne répètent pas tout ce que nous leur avons dit, et, de plus, ils ajoutent des considérations auxquelles nous n'avions jamais pensé.

Il faut donc, premièrement, vérifier nos appareils, c'est-à-dire faire disparaître les causes d'erreur qu'ils introduisent ; deuxièmement, prouver qu'ils ne suppriment que les vibrations accessoires et qu'ils inscrivent bien les seules vibrations nécessaires et suffisantes pour faire une voyelle.

On pourrait presque dire que chacune des parties qui constituent nos instruments introduit une cause d'erreur.

Les embouchures à parois courbes servent de résonnateur ; c'est pour ainsi dire une seconde bouche qui se trouve en avant de l'autre et qui transforme tous les tracés.

Le tube est un véritable tuyau sonore ; son diamètre et sa longueur ont donc la plus grande importance (*fig. 46*).

La plaque a une vibration propre qui varie avec sa nature et la façon dont elle est fixée ; au contraire, une membrane mince et non tendue de caoutchouc transmet toutes les vibrations sans introduire aucun harmonique.

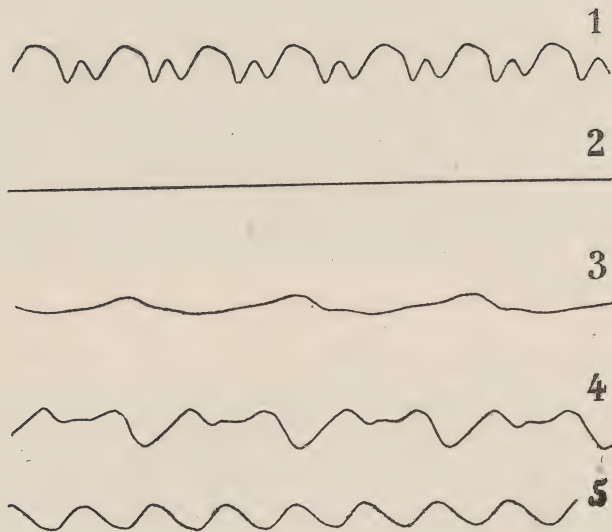
Enfin, si le levier n'est pas très court, il transforme tous les tracés en vibrant pour son propre compte.

Il faut donc supprimer l'embouchure et le tube, puis parler directement devant la partie vibrante ; mais, pour empêcher les vibrations de glisser à la surface sans influencer cette plaque vibrante, il faut conserver un léger rebord cylindrique de 3 à 4 centimètres de hauteur.

Il faut, de plus, amortir les vibrations du levier, ou le remplacer par un rayon lumineux réfléchi au moyen d'un miroir qui suit tous les mouvements de la plaque.

J'ai donc employé trois sortes d'appareils :

A. Appareil à ressort aérien. — L'appareil que j'ai fait



Méthode graphique.

FIG. 46. — Transformations du tracé d'un diapason obtenues en faisant varier la longueur du tube qui le sépare de la plaque vibrante : le tracé 5 est le seul bon.

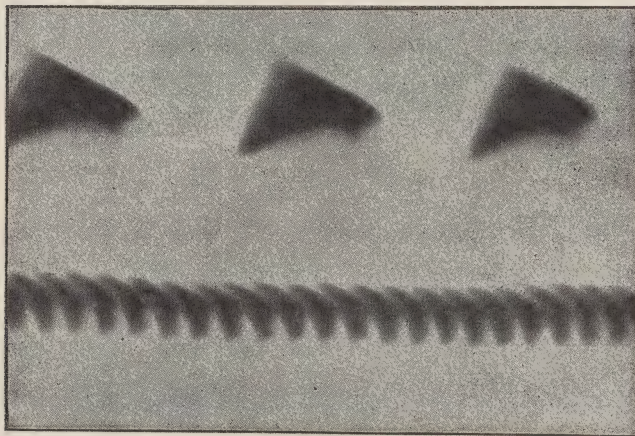


FIG. 47. — En bas, tracé des vibrations d'un diapason la_3 (435 vibrations) obtenu avec une capsule manométrique ; en haut, tracé d'un diapason vibrant à $\frac{1}{54}$ de seconde.

construire se compose d'une membrane de caoutchouc non tendue, au centre de laquelle s'appuie la petite branche d'un levier de troisième genre qui ne porte qu'une articulation à son point fixe ; au-dessus de la puissance est collée une petite surface plane en papier sur laquelle on fait arriver un courant d'air sous une pression constante (1 centimètre d'eau) ; cela suffit pour forcer le levier à suivre tous les mouvements de la membrane.

Je me suis assuré d'abord que le courant d'air ne modifiait en rien les résultats.

B. Capsule manométrique. — L'appareil est parcouru par de l'acétylène s'échappant sous une pression de 1 centimètre d'eau. Au-dessus, se trouve une autre capsule vibrant, par l'intermédiaire d'un tambour de Marey, à l'unisson avec un diapason électrique au $1/54$ de seconde : c'est la flamme chronométrique (*fig. 47*)⁽¹⁾.

Les deux flammes sont photographiées au moyen d'un chronophotographe de Marey à mouvement continu.

C. Phonographe. — Je me suis servi tantôt d'un phonographe ordinaire, tantôt d'un phonographe Lioret dont le cylindre de celluloid était ramolli au moment de l'inscription ; les empreintes étaient ensuite transformées en courbes ; cette transformation est indispensable, si on veut faire une étude sérieuse (*fig. 48, 49, 50, 51*).

Résultats. — Quand on écarte ainsi toutes les causes d'erreur, on constate que, quelle que soit la méthode employée, les tracés sont tous comparables entre eux. Quand la voyelle est chantée, on reconnaît la note fondamentale, mais le groupement est assez difficile à retrouver. Les voyelles parlées, au contraire, ont des tracés très caractéristiques ; OU et I sont

⁽¹⁾ En faisant passer par la trompe d'Eustache au moyen d'une sonde en Y un courant d'acétylène dans l'oreille moyenne d'un chien venant de mourir, on obtient les mêmes tracés qu'avec une capsule manométrique ordinaire, quand on parle les voyelles devant le tympan du chien.

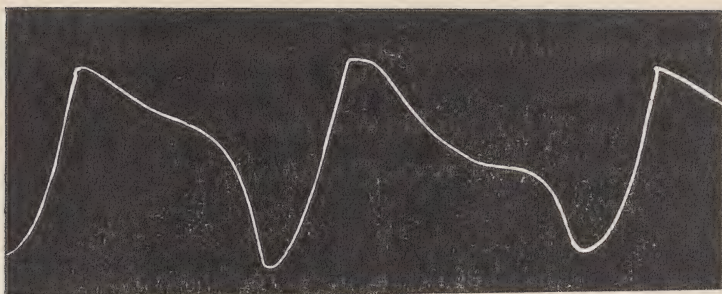


FIG. 48. — É parlé.

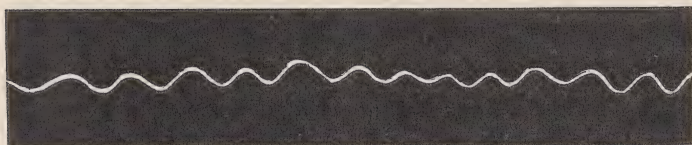


FIG. 49. — É chanté.

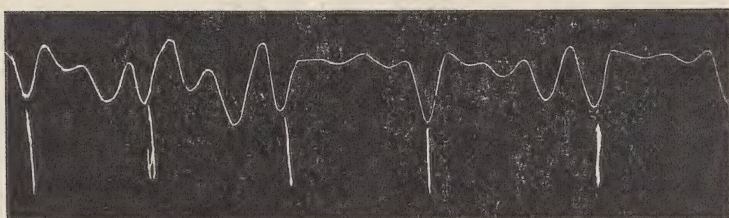


FIG. 50. — A parlé.

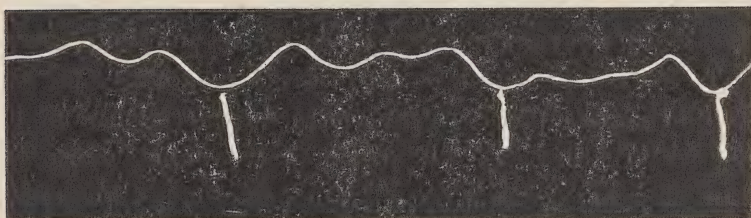
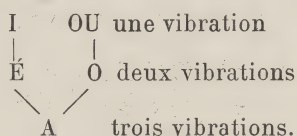


FIG. 51. — A chanté.

constituées par des vibrations isolées, O et É par des vibrations groupées par deux, A est constitué par un groupe de trois vibrations, de manière que l'on peut établir le tableau suivant (*fig. 52*) :



Nous devons alors nous demander si réellement nous n'avons pas supprimé trop de vibrations, et si nous avons bien dans les tracés les conditions nécessaires et suffisantes pour faire une voyelle ; il faut donc reprendre toutes ces expériences avec les méthodes électriques.

3. — Méthodes électriques.

Étant donné que le téléphone répète tout ce qu'on dit devant un microphone, il était naturel de chercher non pas à écouter le téléphone, mais à inscrire soit les variations du courant, soit les vibrations de la plaque ; ces appareils sont, en effet, bien plus sensibles que les précédents ; la surface vibrante, au lieu de se déplacer de $1/10$ de millimètre, se déplace de quantités qui sont de l'ordre de grandeur de $1/1000$ de millimètre, c'est-à-dire que ses déplacements sont comparables à ceux du tympan. On voit donc que cette méthode doit être très sensible.

a) Variations du courant. — Un ingénieur français, M. Blondel, se servant des oscillographes, a pu inscrire les variations du courant téléphonique ; cette méthode permet de suivre les transformations des vibrations sonores en oscillations électriques par l'intermédiaire du microphone et d'un circuit renforceur. Le dispositif de résonance comprenait l'emploi de trois circuits avec transformateur, élévateur, réducteur et condensateur. A en juger par la pureté des sons de l'arc, on peut admettre que la force électromotrice dans le troisième circuit reproduit très sensiblement les vibrations

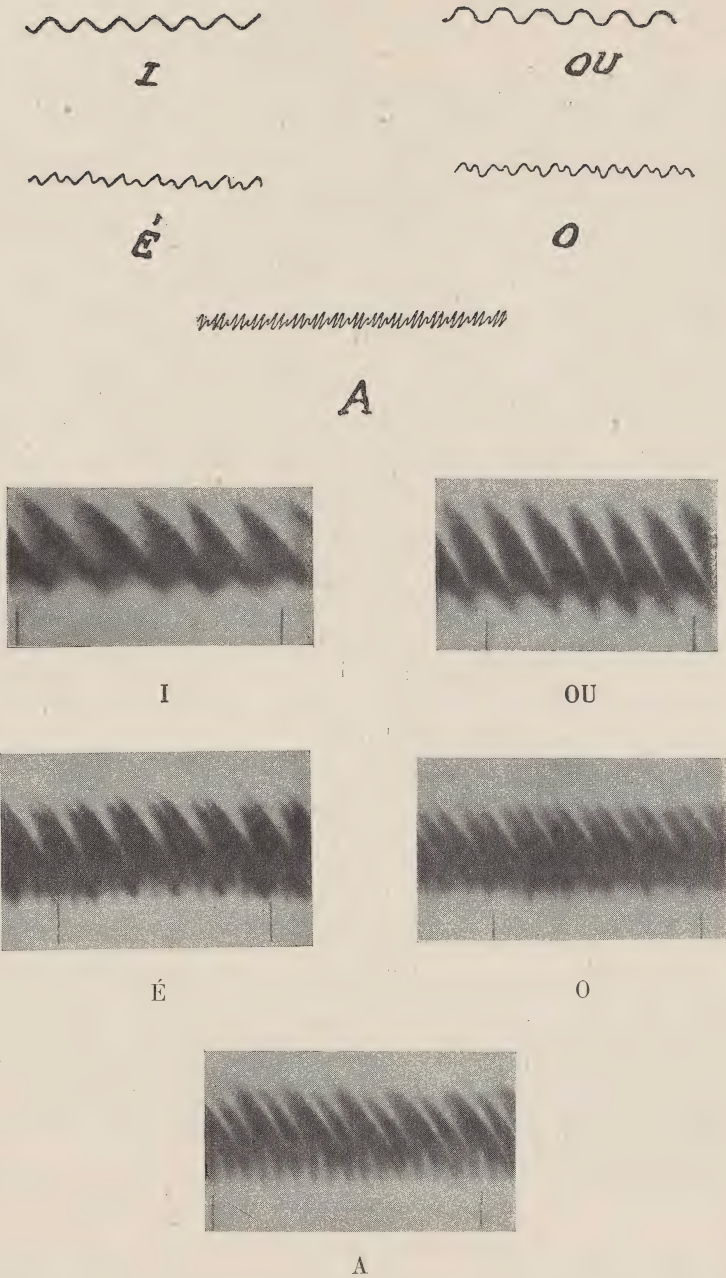


FIG. 52. — Tracés des voyelles obtenus avec la méthode graphique, et avec les flammes manométriques, les causes d'erreur étant supprimées. Entre chaque trait au-dessous des flammes, il s'écoule $\frac{1}{54}$ de seconde.

naturelles de la voix. Un oscillographe était branché en dérivation aux bornes secondaires du second transformateur, et l'on photographiait les courbes correspondant aux voyelles OU, O, A, É, I. Les tracés ainsi obtenus correspondent à ceux que nous avons trouvés avec les méthodes précédentes. Il est donc dès maintenant très probable que nos résultats sont exacts; nous verrons un peu plus loin que nos prévisions vont se réaliser, car nous pourrons faire la synthèse de toutes les voyelles que nous avons étudiées ⁽¹⁾.

b) Inscription des mouvements de la plaque du téléphone. — J'ai employé ce procédé en 1907; l'appareil dont je me suis servi ne m'a pas permis de dissocier les vibrations, le papier ne se déroulant pas assez vite. J'ai fait construire depuis un autre instrument; mais j'ai déjà obtenu un résultat qui peut rendre service aux professeurs de chant et de diction en leur permettant de faire voir à leurs élèves les fautes qu'ils commettent; on constate en effet immédiatement ce qu'un phonographe ne fait voir qu'après une étude longue et difficile; si un artiste chante en mesure, si sa voix est régulière ou chevrotante et si elle est juste.

Pour cela, j'ai employé la disposition suivante: un microphone et une pile sont mis en communication avec un téléphone. Les mouvements de la plaque vibrante du téléphone sont transmis à un miroir qui reçoit un rayon lumineux; ce rayon, après réflexion, vient impressionner une feuille de papier photographique mobile, qui passe ensuite dans un bain développeur, puis dans un bain fixateur. Un dispositif spécial, employé dans le télégraphe extra-rapide, permet au rayon lumineux de se déplacer dans un plan horizontal, de manière à écrire des lignes un peu inclinées sur le grand axe du papier; l'inclinaison des lignes est produite par le déplacement du papier; chaque ligne correspond à un $\frac{1}{4}$ de seconde (*fig. 53*).

La figure 53 représente le même exercice bien chanté, à droite,

⁽¹⁾ M. Devaux-Charbonnel a repris ces expériences avec une méthode simplifiée, il a obtenu de très beaux tracés.

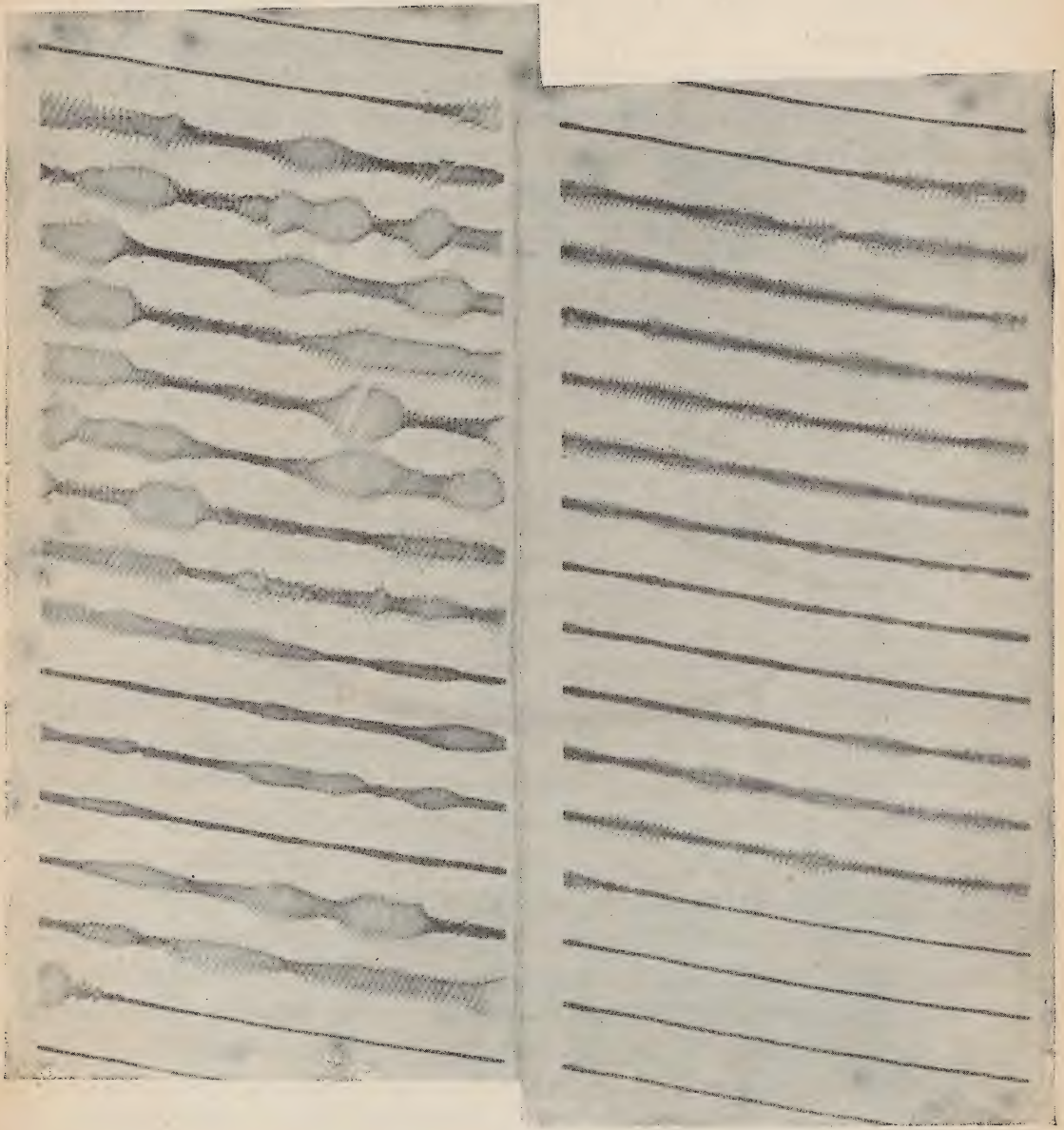


FIG. 53. — Même exercice de chant.

Méthode française à gauche.

Méthode italienne à droite.

INSCRIPTION DES MOUVEMENTS DE LA PLAQUE DU TÉLÉPHONE

suivant la méthode italienne, et, à gauche, suivant la méthode française

Le premier tracé, beaucoup plus régulier, indique que, dans ce cas, la méthode italienne a produit une impression plus agréable sur l'oreille ; de plus, elle permet de chanter plus facilement, car cet exercice a duré moins longtemps que l'autre ; cette expérience, répétée plusieurs fois, a toujours donné des résultats analogues.

Ce procédé peut également servir aux professeurs de diction, car on voit facilement la durée de chaque syllabe et la note sur laquelle elle est émise.

4. — Photographie de la voix.

On a vu combien il était difficile d'inscrire d'une façon exacte les vibrations de la voix : les appareils employés sont des instruments de laboratoire peu commodes à régler, et la plupart d'entre eux suppriment des vibrations et en introduisent de nouvelles.

J'ai cherché à remédier à ces inconvénients en faisant construire un appareil qui permet de photographier, de développer et de fixer immédiatement les vibrations qu'une membrane mince en caoutchouc transmet à un petit miroir plan qui suit tous ses mouvements ; la source lumineuse est celle dont on se sert dans le télégraphe extra-rapide présenté en novembre 1906 à la Société de Physique. Ce dispositif permet d'économiser le papier en écrivant perpendiculairement à l'axe du papier photographique, comme si l'on se servait d'écriture ordinaire.

Le papier est entraîné d'un mouvement continu par deux paires de laminoirs parallèles et, après avoir été impressionné, il passe successivement dans deux bains de développement, puis dans un bain de fixation où l'on peut le faire séjourner plus ou moins longtemps (*fig.* 54 et 55).

Tout le système est entraîné au moyen d'un petit moteur électrique à régulateur pour que le mouvement soit bien uni-

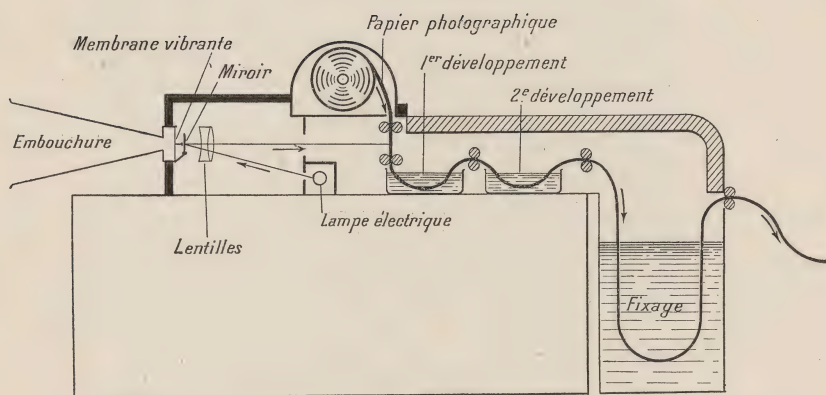


FIG. 54. — Vue schématique de l'appareil pour photographier la voix.

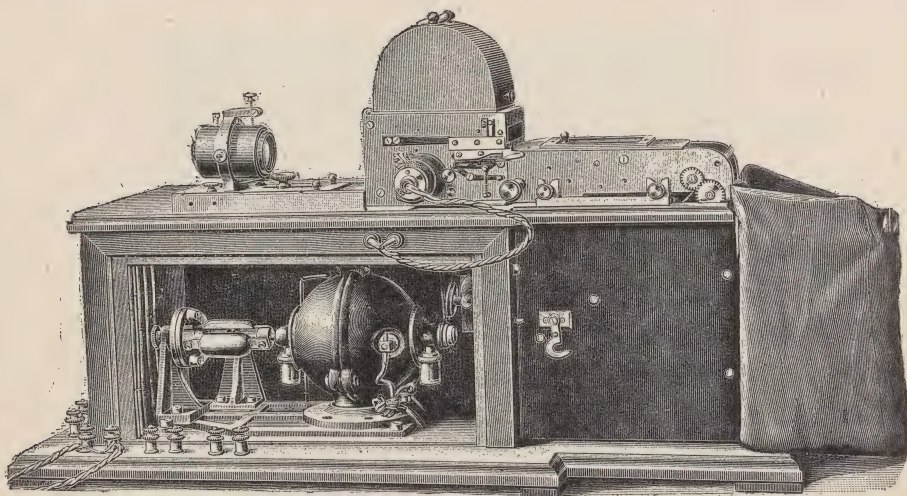


FIG. 55. — Appareil pour photographier la voix.

forme. Les tracés que l'appareil inscrit sont exacts, et à n'importe quel moment, quand on emploie les mêmes sources sonores, on retrouve les mêmes courbes.

On obtient ainsi des épreuves ayant jusqu'à 25 mètres de longueur : le morceau de chant que l'on photographie peut durer d'autant plus de temps que le papier se déroule plus lentement ; si chaque ligne dure $\frac{1}{4}$ de seconde, on peut chanter pendant 12 minutes ; si elle dure $\frac{1}{8}$ de seconde, on peut chanter 6 minutes ; on a donc tout le temps nécessaire pour obtenir une longueur de tracés suffisante : la fable la Cigale et la Fourmi s'inscrit très facilement tout entière, on dissocie toutes les vibrations en faisant durer chaque ligne $\frac{1}{6,5}$ de seconde.

Expérience. — On commence par déterminer la vitesse d'entraînement, en inscrivant les vibrations d'un diapason à anche : chaque ligne dure à volonté $\frac{1}{n}$ de seconde, n étant égal à 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Résultats. — 1° Si chaque ligne dure $\frac{1}{2}$ seconde, et si l'on emploie l'embouchure en carton dont on se sert pour impressionner les phonographes, on obtient des tracés qui rappellent tout à fait ceux des phonogrammes (*fig. 56*).

Il faut donc aller plus vite pour dissocier les vibrations, et de plus remplacer l'embouchure qui vibre pour son propre compte par un rebord tronconique dont les parois ne vibrent pas et qui empêchent les vibrations de glisser à la surface de la membrane. En regardant la partie supérieure de la figure 56, on comprend le rôle de l'embouchure dans les phonographes ; elle a l'inconvénient de transformer le son, mais elle a l'avantage de donner des tracés qui pénètrent bien plus profondément dans le cylindre de cire ; l'appareil parle fort, mais il parle avec moins de pureté que si l'on employait un dispositif différent.

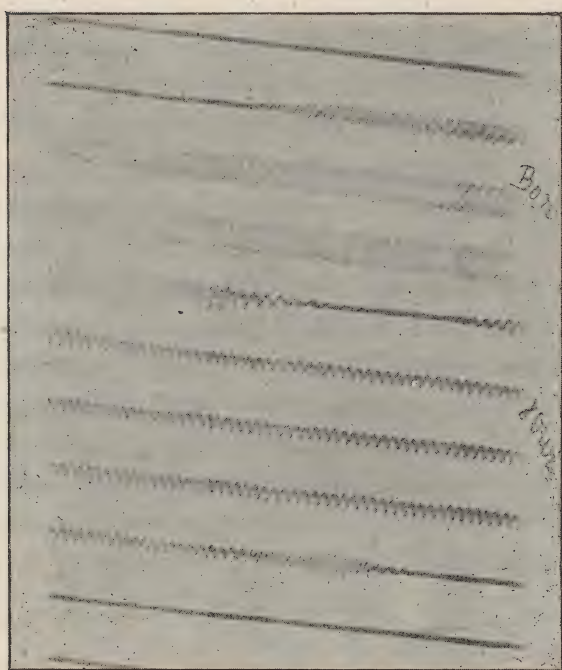
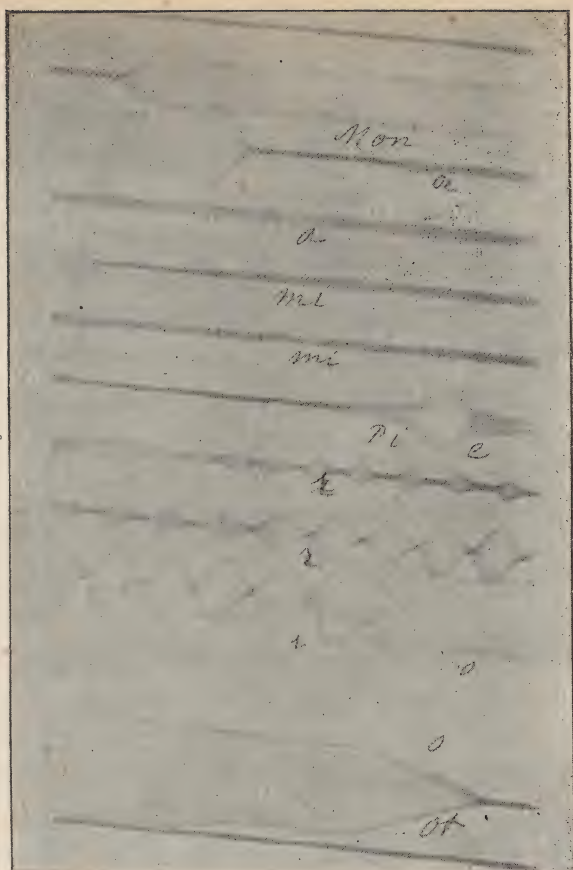


FIG. 56. — Deux photographies de la voix : en haut, chaque ligne dure $\frac{1}{2}$ seconde, les vibrations sont confondues, de plus elles sont amplifiées par une grande embouchure ; en bas (bonjour), chaque ligne dure $\frac{1}{4}$ de seconde, les vibrations sont dissociées et elles ne sont pas transformées par une embouchure défectueuse.

2° On obtient pour les voyelles I, OU des tracés à une période, É, O, des tracés à deux périodes. A des tracés à trois périodes, ce sont ceux que j'ai communiqués à l'Académie en me servant d'appareils différents ; ils correspondent à ceux qu'a trouvés M. Blondel avec les oscillographes ; dans le corps d'un mot, on retrouve facilement les tracés de ces voyelles.

§ II. — SYNTHÈSE DES VOYELLES

Si nos tracés sont bons, nous devons pouvoir reproduire la voyelle en appliquant les résultats que nous avons trouvés.

Il s'agit donc de construire un appareil qui nous permette de reproduire les vibrations par groupe de une, deux ou trois, suivant que nous voudrions obtenir I et OU, É et O, puis A.

C'est le dispositif suivant qui va nous permettre d'y arriver. On perce d'un certain nombre d'ouvertures triangulaires, également distantes les unes des autres et dirigées suivant les rayons, un disque circulaire métallique mobile autour d'un axe perpendiculaire à son plan et passant par son centre. Nous devons reproduire les voyelles en faisant arriver un courant d'air au moyen d'un tube perpendiculaire au disque (*fig. 57 et 58*).

Si tous ces trous sont également distants, nous devons entendre OU ; si nous bouchons une fente sur trois, nous formons des groupements par deux, et nous devons obtenir la voyelle O.

En prenant un disque analogue à celui-là, mais en disposant les fentes par groupes de trois, nous devons avoir trois vibrations groupées ensemble ; en faisant tourner rapidement le disque, nous aurons la voyelle A. C'est ce que l'expérience vérifie.

Restent les voyelles É et I. Elles ont bien des groupements par un et par deux, mais É n'est pas O, I n'est pas OU. Si nous examinons attentivement les cordes vocales de quelqu'un qui prononce É, nous constatons qu'elles sont rapprochées, tandis que, pour OU et O, c'est un véritable triangle qui se trouve entre les cordes vocales (*fig. 57*).

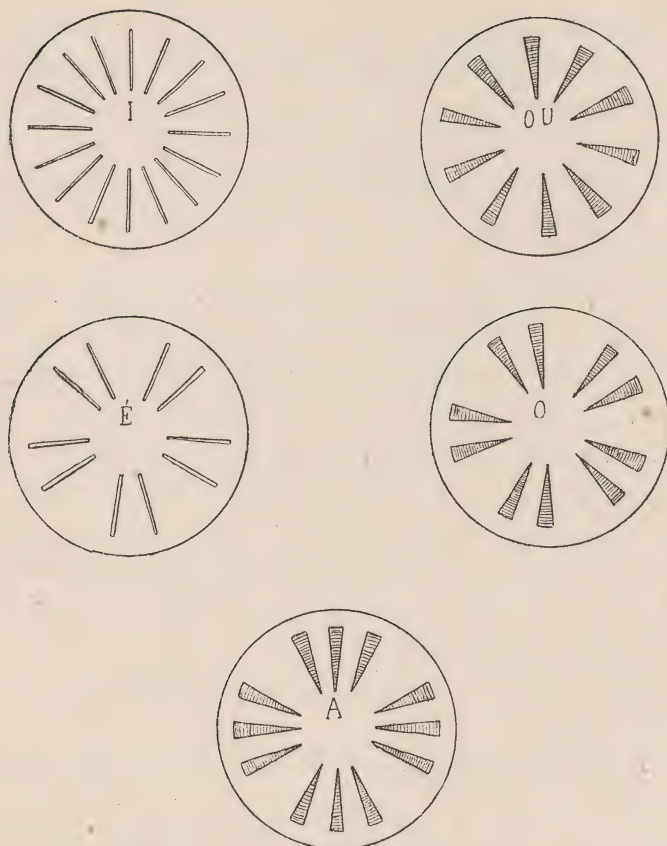


FIG. 57. — Plateaux mobiles donnant les différentes voyelles chantées.

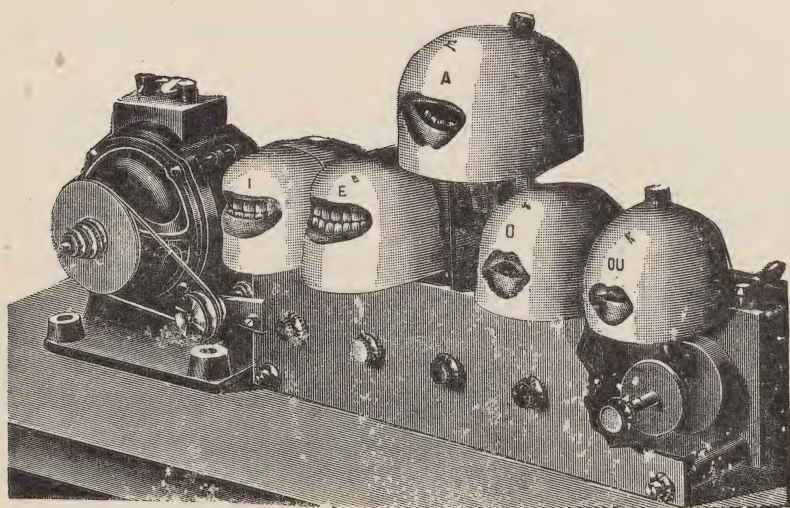


FIG. 58. — Sirène à voyelles et résonnateurs buccaux.

Il faut donc faire des fentes très étroites; et là où nous avons O tout à l'heure, nous devons avoir É; là où nous avons OU, nous devons obtenir I.

C'est encore ce que l'expérience vérifie. De plus, si nous prenons les tracés de ces voyelles artificielles, nous obtenons les mêmes courbes que celles des voyelles naturelles (*fig.* 60, 61, 62, 63, 64).

Nous en arrivons alors à nous demander à quoi sert la bouche, puisque le larynx seul suffit à prononcer les sons voyelles⁽¹⁾.

Pour répondre à cette question, il faut prendre les moules en plâtre de la cavité buccale, ils nous fournissent une bouche artificielle isolée ayant exactement la forme de la bouche naturelle prononçant la voyelle. On place successivement ces bouches sur les sirènes qui reproduisent les voyelles, on prend de nouveau le tracé, et on cherche par tâtonnement la note sur laquelle il faut émettre la voyelle pour obtenir un tracé net c'est-à-dire une voyelle pure.

Elles sont renforcées, c'est-à-dire bien émises dans les conditions suivantes :

Si A est émis sur la note n , la cavité buccale doit donner la note $3n$;

Si É et O sont émis sur la note n' , la cavité buccale doit donner la note $2n'$;

Si I et OU sont émis sur la note n'' , la cavité buccale doit donner la note n'' .

Dans ce qui vient d'être dit, on ne tient pas compte des harmoniques accessoires qui donnent le timbre spécial à chaque voix.

Donc, à chaque voyelle laryngienne bien émise, correspond une forme et une seule de cavité buccale pour un sujet déterminé. Si cette condition n'existe pas, la voyelle est mal émise, c'est-à-dire transformée, et la courbe caractéristique n'existe plus.

(1) Pour le prouver, il suffit d'annuler le résonnateur buccal en le remplissant complètement de stents; bien qu'il n'y ait plus de résonnateur pouvant reproduire la vocable indispensable d'après Helmholtz, un expérimentateur peut émettre les cinq voyelles OU, O, A, É, I. La sirène que nous venons de décrire est donc l'analogue du larynx. (Voir page 92.)

Quand une voyelle A, par exemple, est chantée sur différentes notes, il arrive le plus souvent que son tracé varie à chaque note : la figure 59, empruntée à Hermann, montre bien ce phé-

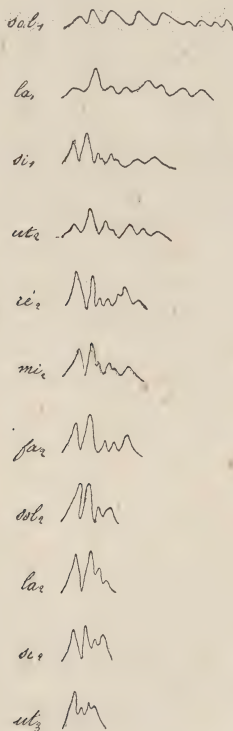


FIG. 59. — A naturel chanté, d'après un tracé de phonographe (Hermann).

nomène ; il semble donc qu'il y ait autant d'A que de notes différentes pour un même sujet ; je vais montrer maintenant à quoi tient cette complexité apparente des tracés d'une même voyelle.

Expériences. — 1. La voyelle synthétique A est émise sur différentes notes par une sirène à voyelles dont les résonnateurs buccaux ont été supprimés : le tracé à 3 périodes reste le même sur toutes les notes (*fig.* 63 et 64, tracé type de A) ; comprises dans les tessitures (registres pour certains auteurs) de la voix humaine.

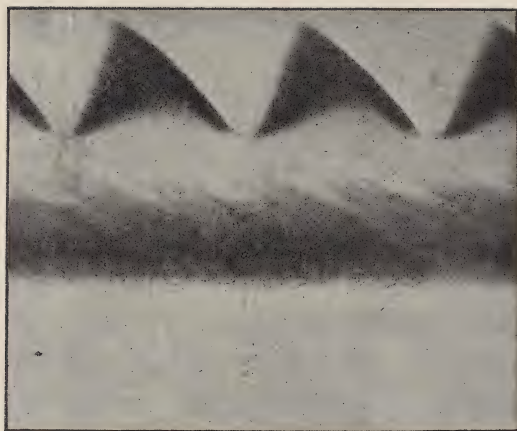


FIG. 60. — Flamme de A avec la sirène seule, note *n*; groupements peu nets (voyelle chantée).

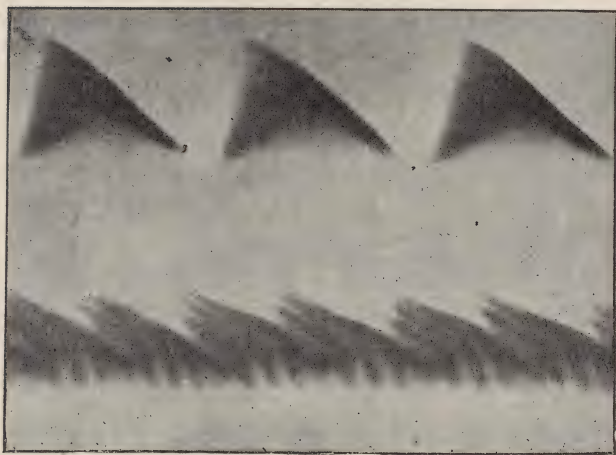


FIG. 61. — Flamme de A avec sirène sur la note *n'*, et moulage donnant une note voisine de *3n'*; groupements plus nets (voyelle assez bien parlée).

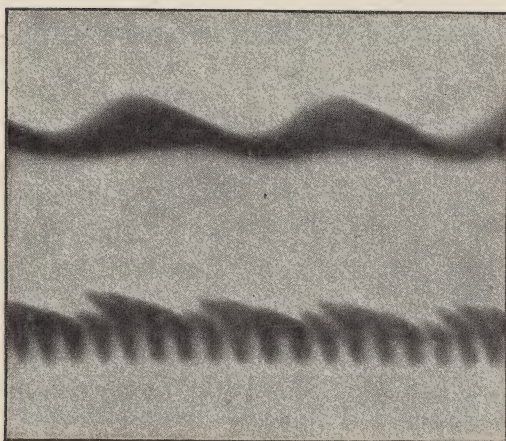


FIG. 62. — Flamme de A avec sirène donnant la note *n*, et moulage correspondant à la voyelle OU (voyelle mal parlée, tenant de A et de OU).

2. *Bouche constante, note variable.* — On ajoute à la sirène A le moulage en plâtre de la bouche prononçant A et renforçant la note la_3 constante ; on fait alors tourner la sirène avec des vitesses différentes, de manière à avoir une note fondamentale variable ; le tracé change à chaque note, et il ne redevient exact, c'est-à-dire à 3 périodes, que si la sirène donne la note fondamentale $la_3/3$ ou $ré_2$ (fig. 63). Ces tracés d'une voyelle synthétique sont tout à fait comparables à ceux de la figure 59.

Si on remplace, sur la sirène A, le moulage de A par celui de la bouche prononçant O et donnant sol_3 , on obtient encore des tracés différents, et le seul tracé exact à 3 périodes est obtenu lorsque la voyelle est émise sur la note fondamentale $sol_3/3$ ou ut_2 (fig. 64). On obtient des résultats analogues avec le moulage de OU qui, renforçant si_2 , donne un tracé à 3 périodes lorsque A est émis sur la note fondamentale mi_1 .

3. *Bouche variable, note constante.* — On remplace la bouche en plâtre par une bouche en gélatine ou en caoutchouc pouvant prendre des formes différentes ; la sirène A donne constamment la note fondamentale ut_2 , commune aux tessitures de basse, de baryton et de ténor ; à chaque forme de bouche correspond une forme spéciale de tracé (fig. 65).

4. *Bouche variable, note variable.* — Pour que le tracé de la voyelle reste le même, il faut que, à chaque note, la bouche change de forme suivant la loi que j'ai indiquée au début (fig. 66), si la cavité buccale varie d'une façon quelconque, sans tenir compte de la note fondamentale, les tracés se transforment complètement (fig. 67).

CONCLUSIONS. — 1. En faisant abstraction des harmoniques, qui donnent le timbre de chaque voix et que mon appareil n'inscrit pas, on obtient des tracés très simples pour les voyelles fondamentales OU, O, A, É, I, lorsque ces voyelles sont bien émises.

2. Ces tracés se modifient à chaque note lorsque la bouche n'a pas la forme qu'elle doit avoir ; c'est pourquoi une bonne diction étant très rare dans la voix chantée, j'ai dit qu'il fal-

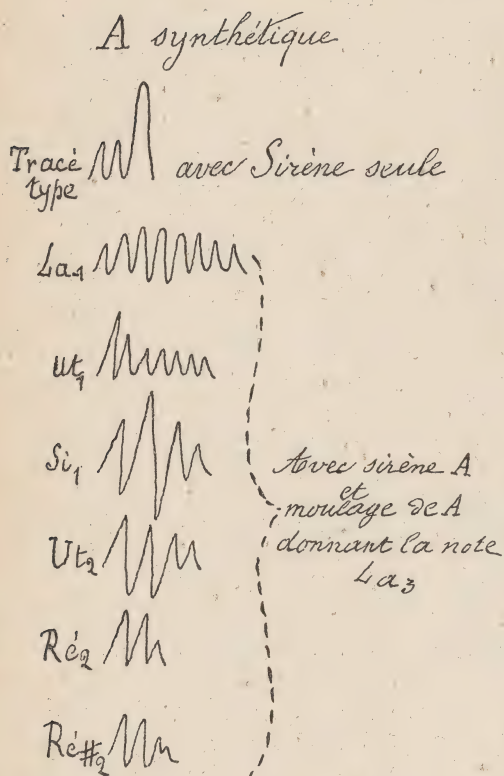


FIG. 63.

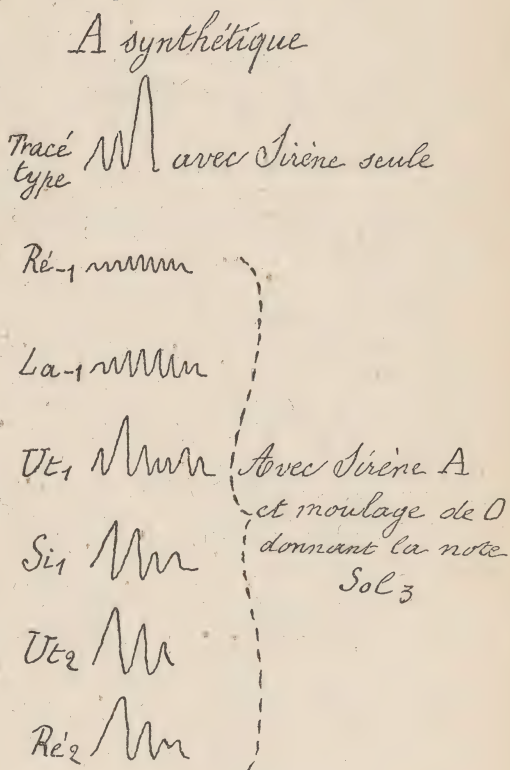


FIG. 64.

Note variable, bouche conservant la même forme.

Ces figures montrent comment on peut transformer le tracé type de la voyelle synthétique A, et obtenir les mêmes résultats que dans la figure 59.

lait d'abord chercher les tracés caractéristiques des voyelles parlées.

3. Il arrive que certains appareils transforment les tracés, ce qui complique encore les résultats.

4. On comprend pourquoi il est si rare de rencontrer des chanteurs ayant une bonne diction : une belle voix dépend uniquement du larynx et de l'oreille, c'est-à-dire de conditions anatomiques ; une bonne diction nécessite une série d'études longues et difficiles, que peu de chanteurs ont le courage de faire complètement.

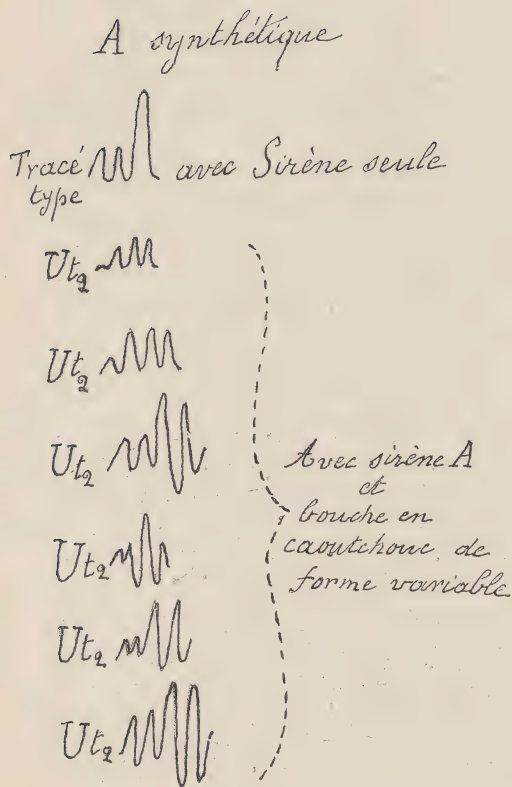


FIG. 65. — A synthétique, note constante, bouche en caoutchouc variant de forme.

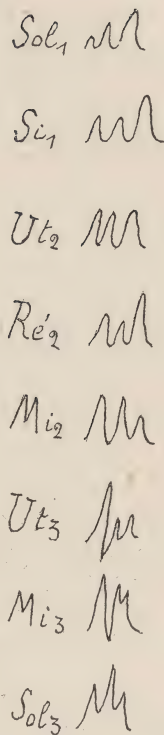


FIG. 66. — A naturel chanté sur différentes notes avec une bonne diction, la bouche variant de forme à chaque note.

REMARQUE. — Il est évident qu'il y a une infinité de voyelles différentes; celles que nous avons étudiées, OU, O, A, É, I, ne forment qu'un cadre dans lequel les autres peuvent trouver place.

Les autres voyelles dépendent des différentes formes que peuvent prendre les résonnateurs supra-laryngiens; il est certain qu'un A laryngien émis sur la note $ré_3$ ne produira pas la même impression sur l'oreille si les vibrations traversent des

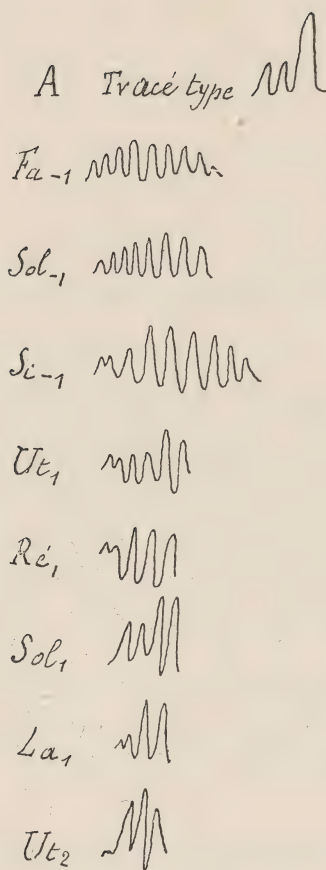


FIG. 67. — A synthétique avec note variable et bouche en caoutchouc variant d'une façon quelconque.

résonnateurs donnant la note $si\flat_4$ ou $si\flat_2$; dans le premier cas on a un tracé à trois périodes; dans le second, un tracé à quatre périodes; l'impression sur l'oreille ne doit donc pas être la même.

Quant au timbre spécial à chaque voix, il dépend probablement de la largeur des cordes vocales, de leur épaisseur, du volume des ventricules de Morgagni, de la position des dents, de la fourniture des résonnateurs supra-laryngiens, quantités essentiellement variables non seulement avec chaque individu, mais encore avec l'état actuel de ses muqueuses.

§ III. — EXPÉRIENCES DE PHYSIOLOGIE

Première expérience : la bouche n'est pas nécessaire pour produire une voyelle. — Chez un sujet vivant, on annule complètement le rôle de la cavité buccale en la remplissant de stents, la substance dont se servent les dentistes pour prendre les empreintes ; un tube cylindrique indéformable traverse le stents et conduit les vibrations au dehors ; il n'y a donc plus de vocable buccale, puisqu'il n'y a plus de résonnateur ; cependant le larynx produit parfaitement les cinq voyelles OU, O, A, É, I ; ce sont donc des voyelles laryngiennes ; du reste, leur tracé est caractéristique.

Deuxième expérience : le larynx seul suffit pour produire la voyelle. — Il fallait pousser l'expérience plus loin, isoler complètement un larynx et lui faire rendre des sons analogues à ceux qu'il produit pendant la vie.

Ces expériences ont déjà été tentées par de nombreux physiiciens et en particulier par Müller sur des larynx morts et isolés ; ce dernier expérimentateur n'avait pu obtenir que des vibrations ne rappelant pas du tout celles des larynx vivants ; et encore tendait-il les cordes vocales avec des forces bien supérieures à celles que peuvent déployer les muscles intralaryngiens (1 kilogramme parfois) ; ces forces, chez le vivant auraient arraché les aryténoïdes ; on se trouvait donc bien loin des conditions normales. C'est pourquoi j'ai repris ces expériences sur des larynx de chiens.

Technique. — Trois heures après avoir été injecté à la morphine, l'animal est endormi au chloroforme et, pendant le sommeil, le larynx est enlevé avec l'os hyoïde et les cinq ou six premiers anneaux de la trachée; un tube de caoutchouc du même diamètre que la trachée est raccordé à celle-ci par un tube de verre mince, de manière à pouvoir faire passer un courant d'air dont on mesure la pression avec un manomètre métallique extra-sensible, gradué en millimètres d'eau.

Cet air peut être pris dans un réservoir quelconque à 37° environ, ou bien on peut se contenter de souffler soi-même ou de faire souffler dans le tube de caoutchouc.

Les muscles laryngiens sont soumis à un courant d'induction produit par la petite bobine à chariot qu'on trouve dans tous les laboratoires; le courant primaire est produit par un seul accumulateur. On photographie le larynx au magnésium sur des plaques sensibles au rouge, car les muscles sont gorgés de sang, et on inscrit ces vibrations sur un phonographe.

Résultats. — 1. Si le larynx a été enlevé pendant le sommeil au chloroforme, les muscles peuvent se contracter pendant trois à dix minutes au plus; si on enlève le larynx immédiatement après la mort, le plus souvent on ne peut obtenir aucune contraction, car le sang artériel s'est écoulé.

2. Pour produire des vibrations, le courant d'air doit avoir une pression variant, comme chez l'homme pendant la phonation, entre 150 et 200 millimètres d'eau.

3. Si l'excitateur est placé au niveau des muscles crico-aryténoidiens postérieurs, la glotte s'ouvre largement, les cordes vocales s'écartent au maximum, il n'y a aucun son.

4. Si l'excitateur est placé au niveau des ary-aryténoidiens, les aryténoïdes se rapprochent, et l'on obtient une belle note grave, rappelant à s'y méprendre l'aboiement d'un chien sur une note continue de l'octave 1 (ces notes ont été inscrites au phonographe).

5. Si l'excitateur est disposé de manière à faire contracter non seulement les ary-aryténoidiens, mais encore les thyro-

aryténoïdiens (cordes vocales), on obtient une note très pure et très aiguë, appartenant à l'octave 3 : c'est une sorte de sifflet sur U, correspondant aux hurlements des chiens qui, la nuit, aboient à la lune.

Cette note, très aiguë, a été obtenue sur un chien de taille moyenne; sur la photographie on voit, que les aryténoïdes ont presque chevauché l'un sur l'autre; la glotte est devenue très mince et très courte.

6. La hauteur de la note ne semble dépendre ni du courant ni de la pression de l'air, mais uniquement de la position de l'excitateur, c'est-à-dire des muscles qui se contractent.

7. En aucun cas les lois des vibrations des cordes ne m'ont paru s'appliquer aux vibrations des cordes vocales; celles-ci n'ont pas de son par elles-mêmes, c'est l'air qui vibre.

CONCLUSIONS. — 1. En prenant les précautions que j'ai indiquées, ces expériences sont très faciles à répéter dans des cours et des travaux pratiques; elles peuvent devenir classiques.

2. Les photographies montrent que, à chaque note, le larynx tout entier, épiglote comprise, change de forme; les figures que l'on trouve dans les ouvrages classiques ne donnent qu'une idée très vague de ce qui se passe réellement dans la pratique.

3. A chaque note correspond une forme spéciale de tout l'organe, et le larynx est un instrument de musique qui change de forme à chaque note.

4. Si l'on ajoute l'influence des résonnateurs supralaryngiens, on comprend la diversité des tracés que l'on obtient pour une même voyelle. Si l'appareil inscrit tout, il est vrai de dire qu'il n'y a pas deux tracés pareils, car il n'y a pas deux sons absolument pareils.

5. Les cordes vocales n'agissent pas du tout comme des anches membraneuses en caoutchouc, et il n'y a aucune ressemblance entre les sons rendus par des anches en caoutchouc et les sons rendus par des larynx isolés.

6. Ces vibrations se produisent-elles au niveau de la glotte, c'est-à-dire au moment où l'air passe entre les cordes vocales,

ou les ventricules de Morgagni ont-ils, comme le suppose Savart, une influence prépondérante ? C'est une question qui, pour le moment, est impossible à trancher.

7. On comprend, d'après ce qui précède, que la voix puisse disparaître subitement sans lésions apparentes des cordes vocales, car tous les muscles adducteurs et toutes les articulations des cartilages laryngiens sont sujets à des lésions rhumatismales qui peuvent se produire en un temps très court.

§ IV. — DÉFINITION DES VOYELLES

D'après les tracés des voyelles synthétiques, on peut définir les voyelles de la façon suivante :

Les voyelles sont dues à une vibration aéro-laryngienne intermittente, renforcée par la cavité buccale et produisant OU, O, A, É, I, lorsque celle-ci se met à l'unisson avec la somme des vibrations, transformée par elle et donnant naissance aux autres voyelles lorsque cet unisson n'existe pas ; le nombre des intermittences donne la note fondamentale sur laquelle la voyelle est émise.

Si la cavité buccale fonctionne seule, on a la voyelle chuchotée.

Si le larynx fonctionne seul, on a la voyelle chantée.

Si les deux fonctionnent en même temps, on a la voyelle parlée.

§ V. — CONCLUSIONS

Quelle que soit la méthode que l'on emploie, il est très facile d'inscrire les vibrations de la voix et d'obtenir des courbes très complexes, mais il est excessivement difficile d'obtenir des tracés exacts.

En effet, nos instruments suppriment certaines vibrations et en ajoutent d'autres qui n'existent pas; il faut donc d'abord les régler.

Les conditions nécessaires et suffisantes pour obtenir les voyelles OU, O, A, É, I sont d'arriver à grouper les vibrations par 1, 2 et 3; actuellement on peut, en partant de tracés simplifiés, faire la synthèse de ces cinq voyelles; les tracés des voyelles synthétiques sont les mêmes que ceux des voyelles naturelles; de plus, on peut étudier l'influence de la cavité buccale sur les vibrations laryngiennes au moyen de moulages reproduisant la forme de la bouche prononçant une voyelle; les tracés des voyelles synthétiques montrent les conditions dans lesquelles il faut se placer pour obtenir une voyelle pure, c'est-à-dire une bonne diction, soit dans la voix parlée, soit dans la voix chantée.

Enfin les vibrations de la sirène à voyelles dans laquelle on a supprimé la fourniture des résonnateurs supra-laryngiens qui contribuent à donner le timbre spécial de chaque voix, ont une action spéciale sur l'oreille, ce qui permet de faire la rééducation de l'audition dans les cas de surdité et de surditité.

CHAPITRE VI

ACOUSTIQUE DES SALLES

§ I. — Principe des expériences.

§ II. — Expériences.

§ III. — Vérification des expériences.

§ IV. — Exemple d'une bonne salle.

§ V. — Conclusions.

§ VI. — Applications.

§ VII. — Travaux à faire.

CHAPITRE VI

QUALITÉS ACOUSTIQUES DES SALLES⁽¹⁾

§ I. — PRINCIPE DES EXPÉRIENCES

Dans une salle où se produit un son continu, régulier, un auditeur peut entendre trois sortes de vibrations : 1° l'onde primaire qui vient directement de la source ; 2° les ondes diffusées, en nombre infini, qui sont renvoyées par les parois : elles produisent le son de résonance ; 3° des ondes réfléchies régulièrement par les parois : elles donnent naissance à des échos distincts.

Pour qu'une salle soit bonne au point de vue acoustique, il faut qu'il n'y ait pas d'écho et que le son de résonance soit assez court pour renforcer le son qui l'a produit et ne pas empiéter sur le son suivant. Nous allons étudier les conditions dans lesquelles doit se produire le son de résonance.

Un ingénieur américain, M. Wallace Sabine⁽²⁾, a trouvé la loi à laquelle est soumis le son de résonance ; dans ses expériences, il emploie un tuyau d'orgue donnant ut_3 , et il détermine le temps t pendant lequel l'auditeur continue d'entendre le son, lorsqu'il a cessé de se produire. La durée du son de résonance pour n'importe quelle salle est donnée par la formule :

$t = \frac{K}{a + x}$, dans laquelle K est une constante qui dépend du

(1) Communication faite à la Société française de Physique, séance du 16 novembre 1906.

(2) *Architectural Acoustics*, Part I : *Reverberation of the American Architectural Acoustics*, 1900 ; analysé par M. Bouty dans le *Journal de Physique*, t. X, 1901, p. 38, et le *Bulletin des Séances de la Société de Physique*, p. 39, 1901.

volume V de la salle, et il trouve que $K = 0,171 V$; a est le pouvoir absorbant de la salle vide; x , le pouvoir absorbant des spectateurs. Si l'on détermine expérimentalement t dans une salle vide où $x = 0$, on peut calculer a et ensuite chercher la valeur t' du son de résonance si la salle est pleine; en effet, l'auteur a établi des Tables donnant le pouvoir absorbant de différents corps et en particulier le pouvoir absorbant par personne (0,44) d'un auditoire, le pouvoir absorbant d'une fenêtre ouverte de 1 mètre carré de surface étant pris pour unité.

§ II. — EXPÉRIENCES

Les pouvoirs absorbants des différents corps que l'on peut trouver dans une salle sont les suivants : on a pris pour unité une fenêtre ouverte de 1 mètre carré :

Fenêtre ouverte.....	1
Revêtement en pin dur.....	0,06
— en plâtre sur bois.....	0,03
— en plâtre sur tuile.....	0,02
— en verre.....	0,02
Auditoire par mètre carré.....	0,96
Auditoire par personne.....	0,44
Femme isolée.....	0,54
Homme isolé.....	0,48
Peintures à l'huile.....	0,28
Tapis.....	0,20
Cretonne.....	0,15
Revêtement de bourre de crin.....	0,78

J'ai recommencé ces expériences en employant comme source sonore un orateur artificiel, composé de la sirène à voyelles munie des résonnateurs buccaux, de manière à me rapprocher le plus possible des conditions dans lesquelles se trouve un orateur (*fig.* 58, page 93).

La sirène était disposée au point S, où se trouve habituellement l'orateur; l'auditeur se plaçait successivement en

différents points de la salle 1, 2, 3, 4, ... et l'on déterminait,

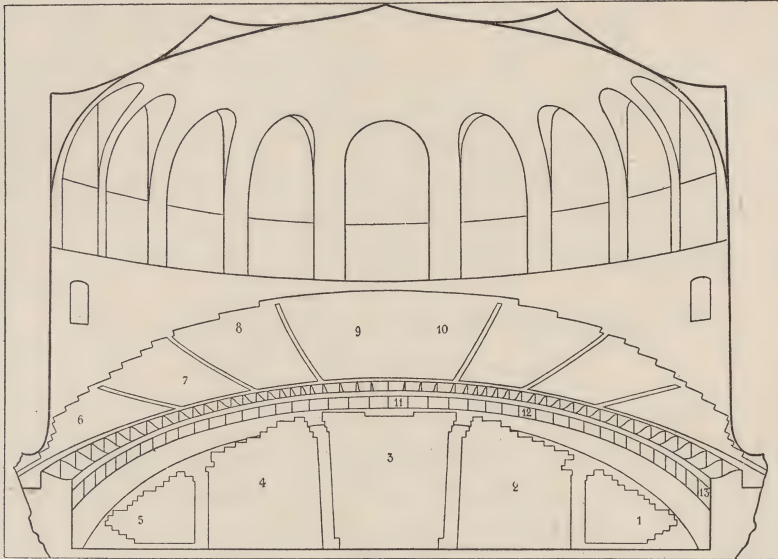


FIG. 68. — Salle du Trocadéro (échelle $\frac{1}{800}$ environ).

en secondes, la durée du son résiduel pour chacune des cinq voyelles synthétiques OU, O, A, É, I.

Conditions de l'expérience :

Voyelles synthétiques.....	OU	O	A	É	I
Notes d'émission ⁽¹⁾	mi_2	mi_2	mi_2	la_4	la_6
Énergie du son en 1 seconde ⁽²⁾	0,052	0,036	0,052	0,036	0,002
Durée du son d'origine, 3 secondes.					

Je vais indiquer les résultats obtenus dans six salles différentes dont le volume variait entre 63.000 mètres cubes (Trocadéro) et 646 mètres cubes (amphithéâtre de Physiologie de la Sorbonne).

Salle du Trocadéro (*fig.* 68) (13 expériences). —

⁽¹⁾ *Sensibilité spéciale de l'oreille physiologique pour certaines voyelles (Comptes rendus, 9 janvier 1903).*

⁽²⁾ En moyenne un orateur dépense en une heure une énergie de 160 kilogrammètres.

$V = 63.000$ mètres cubes ; nombre des auditeurs, 4.500 ; diamètre, 58 mètres ; hauteur de la coupole, 55 mètres :

	OU	O	A	É	I
Son de résonance (salle vide) t , moyenne.....	2	2,1	2	2	1,9
Son de résonance ⁽¹⁾ (salle pleine) t' , moyenne.	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4

Pour qu'un orateur se fasse bien comprendre dans cette salle, il faut qu'il parle lentement, en s'arrêtant à chaque phrase ; il ne doit pas parler avec plus d'énergie que s'il s'adressait à 250 auditeurs dans l'amphithéâtre de Physique de la Sorbonne.

Grand amphithéâtre de la Sorbonne (*fig. 69 et 70*) (11 expériences). — $V = 13.600$ mètres cubes ; nombre des auditeurs, 3.000 ; surface du plafond vitré, 150 mètres carrés ; hauteur du plafond, 17 mètres :

	OU	O	A	É	I
t	2	2,8	2,6	1,9	1,8
t'	0,9	1	1	0,9	0,9

t' est beaucoup plus petit que t ; l'architecte a eu, en effet, le talent de supprimer presque complètement les parois latérales en les tapissant d'auditeurs, dont le pouvoir absorbant est très grand ; de plus, le plafond vitré n'est qu'à 17 mètres du sol, de manière que l'écho ne peut pas se produire : l'acoustique de cette salle est donc très bonne.

Amphithéâtre Richelieu (*fig. 71 et 72*). — $V = 6.000$ mètres cubes ; hauteur du plafond, 10^m,50 ; nombre d'auditeurs, 800 ; nombre des expériences, 13 :

	OU	O	A	É	I
t	1,8	2,2	2	1,6	1,6
t'	1,1	0,8	0,9	1	1

(1) Le son de résonance, dans cette salle, présente un phénomène particulier et qui ne se retrouve pas ailleurs ; sa valeur est très variable ; par exemple, pour É, on trouve 11 fois la valeur 2, puis 1 fois 1,6 ; 2,2 ; et 3 ; c'est ce qui explique pourquoi on entend plus mal à certaines places.

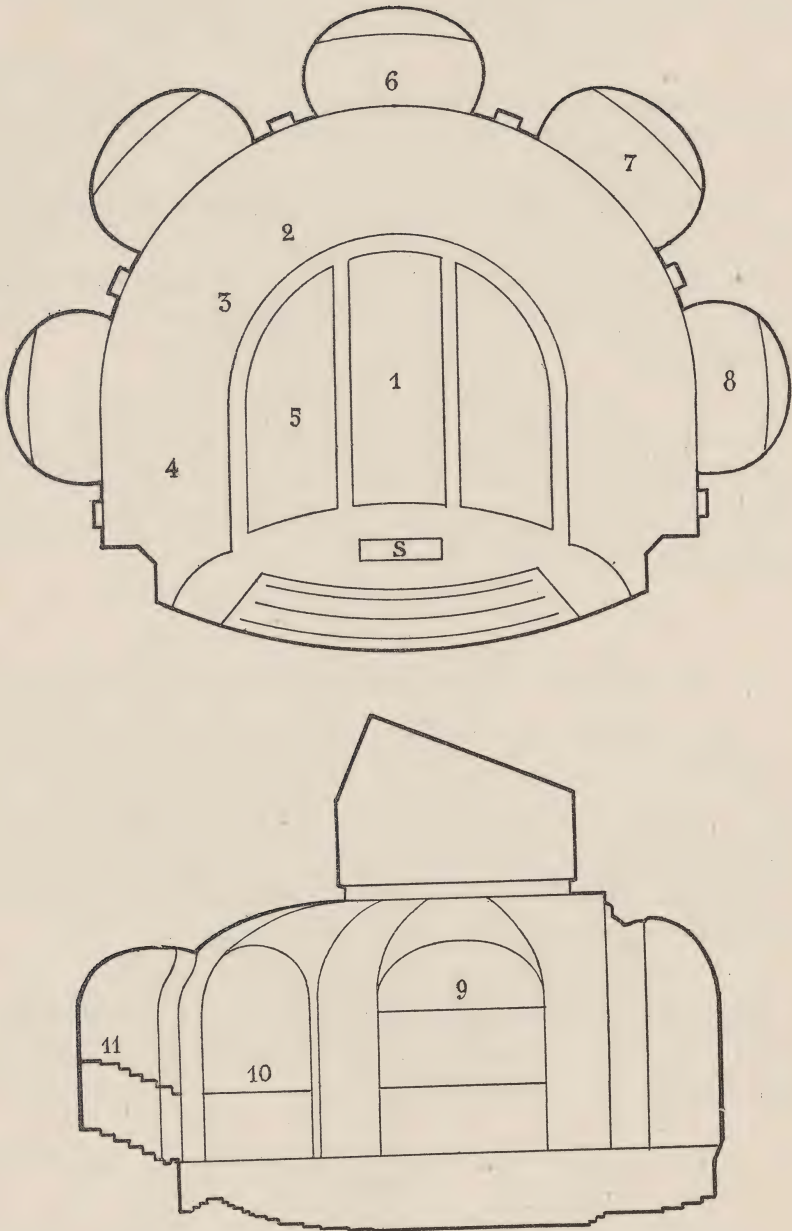


FIG. 69 et 70. — Grand amphithéâtre de la Sorbonne $\left(\frac{1}{400^{\circ}}\right)$.

Salle de l'Académie de Médecine (fig. 73 et 74). — $V = 1.992$ mètres cubes; nombre des auditeurs, en moyenne, 200.

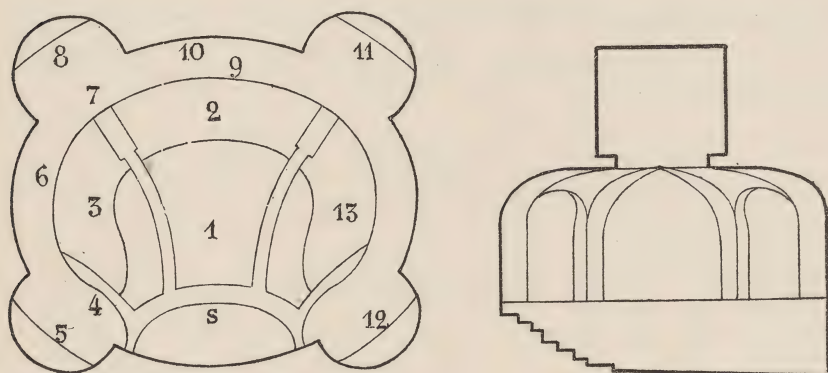


FIG. 71 et 72. — Amphithéâtre Richelieu de la Sorbonne $\left(\frac{1}{400^\circ}\right)$.

Nombre des expériences, 78 :

t	0,5 pour toutes les voyelles
t'	0,4 — —

Je me suis trouvé en présence de résultats inattendus, aussi ai-je multiplié les expériences; jamais je n'ai trouvé un son de résonance aussi court. Cela montre comment on peut chan-

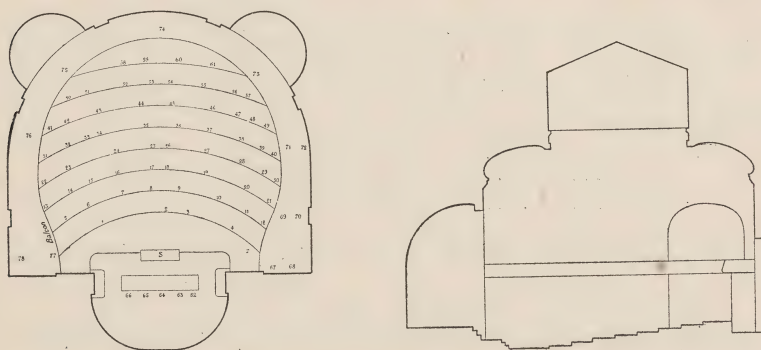


FIG. 73 et 74. — Académie de Médecine $\left(\frac{1}{400^\circ}\right)$.

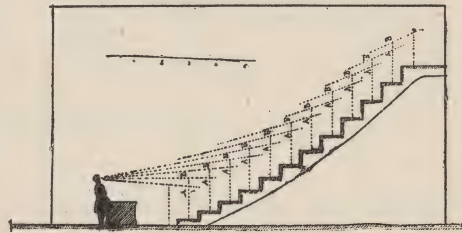
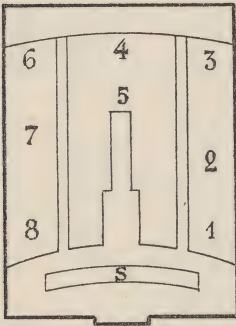
ger les qualités acoustiques d'une salle en augmentant le pouvoir absorbant des parois; pour une salle de cours, dont les auditeurs seraient silencieux, t' serait un peu faible; mais,

pour une salle de séances, il vaut mieux avoir une résonance aussi faible que possible.

Amphithéâtre de Physique de la Sorbonne (*fig. 62 et 63*).

— $V = 890$ mètres cubes ; nombre des auditeurs, 250 ; nombre des expériences, 8 :

	OU	O	A	É	I
Moyenne t	1,4	1,6	1,2	1,4	1,2
— t'	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6



Tracé de la courbe des gradins.

FIG. 75 et 76. — Amphithéâtre de Physique de la Sorbonne $\left(\frac{A}{400^\circ}\right)$.

C'est l'amphithéâtre qui a les meilleures propriétés acoustiques pour la voix parlée.

Amphithéâtre de Physiologie de la Sorbonne. —

$V = 646$ mètres cubes ; nombre des auditeurs, 150 ; nombre des expériences, 8 :

t	1,4	pour toutes les voyelles
t'	0,7	— —

L'acoustique de cette salle est donc également très bonne.

§ III. — VÉRIFICATION DES EXPÉRIENCES

Il convient de se demander ce que valent ces expériences au point de vue théorique.

Il est certain que l'oreille n'est pas un moyen de contrôle absolument parfait : en effet cet organe n'est pas également

sensible à tous les sons ; les expériences suivantes en sont une preuve.

MM. Zwardemaker et Quix ⁽¹⁾ ont cherché le minimum de puissance nécessaire pour produire une sensation sur l'oreille ; pour les tuyaux, ils calculaient l'énergie sonore par la méthode de Lord Rayleigh ⁽²⁾, d'après le débit et la pression de l'air. Ils ont trouvé deux maxima de sensibilité pour l'oreille, l'un pour le son 3072 (*sol*₅ 3100 vibrations), qui correspond à la résonance du conduit auditif externe, et un autre pour le son *ut*₃ (517 vibrations), déjà trouvé par Wead.

Il était intéressant de chercher si les sons voyelles présentaient des phénomènes analogues.

Il est très difficile d'employer les voyelles naturelles, parce que l'on ne peut pas déterminer, chez un sujet normal, le débit et la pression de l'air qui s'écoule des poumons pendant la phonation ⁽³⁾ ; j'ai donc pensé à employer les sons de la sirène à voyelles ; il est facile, en effet, de mesurer sur cet instrument les deux quantités dont on a besoin ; le travail dépensé pendant une seconde sera exprimé en kilogrammètres par le produit VH, le volume V étant mesuré en mètres cubes et la pression H en millimètres d'eau ⁽⁴⁾.

Les conditions de l'expérience étaient les suivantes :

Altitude : 83 mètres ;

Date : mois d'août, entre six heures et sept heures du soir ;

Température comprise entre 20° et 23° ;

Temps sec (il n'avait pas plu depuis un mois) ;

Vitesse du vent : nulle ;

Nature du sol : prairie ;

Observateur : oreille très fine, culture musicale nulle.

L'observateur et la sirène étaient à une distance déterminée,

⁽¹⁾ *Archiv für Anatomie und Physiologie Abteilung : Supplément*, 1882, p. 367-398.

⁽²⁾ *Philosophical Magazine*, 1894.

⁽³⁾ Sur une femme trachéotomisée, Cagniard de Latour avait trouvé que la pression de l'air sortant était de 100 millimètres d'eau pour les sons graves et de 200 millimètres pour les sons aigus.

⁽⁴⁾ Lord RAYLEIGH, *loc. cit.*

et l'on augmentait l'énergie du son jusqu'à ce qu'il fût entendu. Les résultats sont contenus dans le tableau suivant; l'énergie est exprimée en kilogrammètres et la distance en mètres:

Notes	OU		Notes	O		Notes	A	
	Énergie	Distance		Énergie	Distance		Énergie	Distance
<i>ut</i> ₁	0,06	70		0,012	70		0,016	70
<i>ut</i> ₁	0,044	125		0,004	125		0,0033	125
<i>sol</i> ₂	0,06	125		0,008	125		0,00055	125
<i>ut</i> ₃	0,015	125		0,00037	125		0,00096	125
<i>ut</i> ₃	0,038	150		0,0011	150		0,0022	150
<i>ut</i> ₃	0,05	210		0,0033	290		0,039	290

Notes	E		Notes	I	
	Énergie	Distance		Énergie	Distance
<i>ut</i> ₁	0,0023	70	<i>ut</i> ₂	0,00026	70
<i>fa</i> ₃	0,000071	125	<i>fa</i> ₃	0,00045	125
<i>fa</i> ₄	0,00013	125	<i>si</i> ₃	0,00011	125
<i>fa</i> ₄	0,00066	150	<i>fa</i> ₆	0,0000003	125
<i>fa</i> ₄	0,008	290	<i>fa</i> ₆	0,0000003	150
			<i>fa</i> ₆	0,014 (1)	290

L'oreille pourrait donc être comparée à un tambour de Marey



FIG. 77. — Tabernacle des Mormons.

très sensible, mais inégalement sensible aux différents sons : il serait évidemment préférable de remplacer cet organe par

(1) Lord RAYLEIGH avait trouvé une énergie de 0,01862 pour un sifflet donnant *fa*₆ et portant à 200 mètres.

un instrument aussi sensible et ne présentant pas les anomalies que nous avons indiquées. Mais, comme cet appareil n'existe pas, à ma connaissance du moins, et comme, d'un autre côté, ce sont des oreilles qui sont destinées à goûter les qualités acoustiques des salles, il convient de s'en tenir à la méthode précédente.

§ IV. — EXEMPLE D'UNE BONNE SALLE

Il existe en Amérique, dans la capitale des Mormons, à Salt Lake City, une salle excellente au point de vue acous-

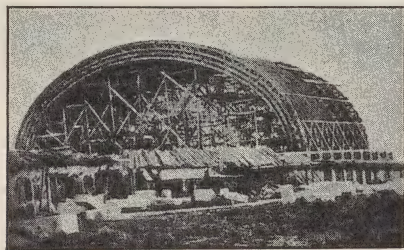


FIG. 78. — Forme de la voûte.

tique : le Tabernacle ; elle contient 7.500 auditeurs : partout on entend merveilleusement.

M. Pascal, architecte, membre de l'Académie des Beaux-Arts, m'a communiqué les photographies qui sont reproduites ici : elles donnent une idée assez exacte du monument. Sur un socle en maçonnerie percé de vingt doubles portes-fenêtres de 3 mètres de large, les seules qui donnent de la lumière, repose une voûte en bois ayant la forme d'un ellipsoïde de révolution (*fig. 77*). La partie intérieure de la voûte est recouverte de planches de parquet ; la partie extérieure est recouverte de tuiles en bois ; la distance des deux surfaces de la voûte est 3^m,50 (*fig. 78*).

A l'intérieur de la salle, les tribunes (que l'on voit sur la *fig. 79*) sont en bois, ainsi que les sièges.

Les dimensions sont les suivantes : largeur, 50 mètres ; longueur, 83 mètres ; hauteur, 27 mètres.

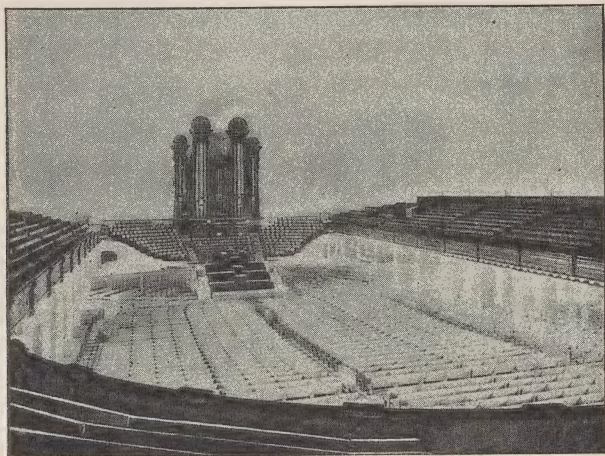


FIG. 79. — Vue intérieure.

Cette salle a été construite de 1865 à 1867 ; elle a coûté 300.000 dollars.

§ V. — CONCLUSIONS

1° Comme l'a dit M. Sabine, le son de résonance peut servir à caractériser les propriétés acoustiques d'une salle ;

2° La durée de ce son varie avec le timbre, la hauteur et l'intensité du son primitif ; ce qui pourrait peut-être expliquer pourquoi une salle peut être assez bonne pour un orateur et mauvaise pour un orchestre ;

3° Avec la formule $t = \frac{K}{a + x}$, on peut déterminer la durée du son de résonance en fonction du nombre des auditeurs ;

4° Pour que l'acoustique d'une salle soit bonne, la durée d'un son de résonance déterminé doit être sensiblement constante pour toutes les places et toutes les voyelles ; elle doit être comprise entre 0,5 seconde et une seconde ;

5° Si cette durée est plus grande que 1 seconde, on n'arrive plus à se faire entendre dans la salle qu'en parlant très lentement, en articulant bien et en ne donnant pas à la voix une énergie trop grande ;

6° Cette méthode permet d'indiquer d'avance à un orateur les conditions dans lesquelles il doit parler pour se faire comprendre de tous ses auditeurs.

§ VI. — APPLICATIONS

1° Quand on doit parler ou chanter dans une salle, il faut auparavant se procurer chez le concierge des renseignements sur la valeur acoustique de la salle ;

2° Si ce résultat ne peut pas être obtenu, il faut essayer de trouver soi-même cette valeur par l'œil et par l'oreille.

Dans une salle vide :

A. *Par l'œil.* — Une salle énorme à plafond très haut, à parois non dépolies par des loges et dont le mur derrière la scène est plus ou moins concave, est probablement trop sonore et doit avoir des échos.

Une salle sans gradins, dont le plafond est bas et muni d'un vélum et qui de plus est beaucoup plus longue que large, est probablement très peu sonore, la voix portera mal.

B. *Par l'oreille.* — On parle ou l'on chante une voyelle pendant trois secondes environ et on entend soi-même le son de résonance ; s'il dure trop longtemps, la salle est trop sonore ; s'il n'existe pas, la salle est sourde, et il faudra ménager ses efforts, car la voix ne portera pas.

3° *Dans une salle plus ou moins pleine :*

A. On se rappellera que les spectateurs ont un grand pouvoir absorbant ; le son de résonance diminuera donc d'autant plus qu'il y aura plus de monde, si en parlant ou en chantant on constate soi-même un léger son de résonance, la voix est entendue de tout le monde.

Si, malgré les efforts que l'on fait, ce résultat n'est pas

obtenu, c'est-à-dire si l'on n'arrive pas à entendre le son de résonance, il est inutile de forcer la voix, on parlera pour les premiers rangs.

B. Si l'on entend un son de résonance très violent, alors il faut diminuer l'énergie de la voix et parler sur des notes graves.

C. Si l'attention des auditeurs diminue, il faut se rappeler que l'oreille est plus sensible aux notes aiguës, et tâcher de parler sur des notes plus élevées.

§ VII. — TRAVAUX A FAIRE

Chaque salle devrait avoir son dossier dans lequel seraient notés ses qualités et ses défauts.

Un livre qui contiendrait ainsi les renseignements sur les salles de Paris aurait un grand succès.

CHAPITRE VII

PORTÉE DES DIVERSES VOIX ET TRAVAIL DÉVELOPPÉ PENDANT LA PHONATION

§ I. — La portée des différentes voix, basse, baryton, ténor.

§ II. — Travail développé pendant la phonation.

§ III. — Résumé.

CHAPITRE VII

PORTÉE DES DIVERSES VOIX ET TRAVAIL DÉVELOPPÉ PENDANT LA PHONATION

§ I. — LA PORTÉE DE CERTAINES VOIX

Souvent un orateur est embarrassé, quand il parle dans une salle dont il ne connaît pas les qualités acoustiques, pour savoir quelle énergie il doit donner à sa voix de manière à se faire entendre de tous ses auditeurs.

Le problème est assez complexe : nous avons en effet trois facteurs qui peuvent intervenir : la salle elle-même, les auditeurs et l'orateur.

J'ai étudié dans le chapitre précédent ⁽¹⁾ l'influence de la salle : on se rappelle qu'une salle est bonne s'il n'y a pas d'écho et si le son de résonance a une durée suffisante pour renforcer le son qui l'a produit sans empiéter sur le son suivant.

De plus, les oreilles des auditeurs ne sont pas également sensibles à tous les sons : à l'état physiologique et en plein air, les sons graves sont entendus beaucoup moins facilement que les sons aigus ⁽²⁾.

Reste l'influence de l'orateur.

On dit généralement que certaines voix *portent* mieux que d'autres ; cette assertion est-elle vraie et que signifie-t-elle exactement ? C'est ce que nous étudierons maintenant.

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, 9 avril 1906.

⁽²⁾ *Comptes rendus*, 9 janvier 1905.

Nous allons donc chercher, dans une salle déterminée, quelle énergie doit donner à sa voix, pour se faire entendre, un orateur suivant qu'il a un registre de basse, de baryton ou de ténor.

L'énergie du son étant donnée par le produit VH du volume V d'air qui s'échappe des poumons sous une pression H , il s'agit de déterminer ces deux quantités.

Or, chez un orateur ordinaire, il est difficile de les mesurer exactement, mais nous pouvons remplacer l'orateur naturel par un orateur artificiel : la sirène à voyelles.

Des expériences nombreuses sur la mesure de l'acuité auditive m'ont prouvé que les voyelles synthétiques OU, O, A, émises sur une même note, f_{a_2} , par exemple, commune aux registres de basse, de baryton et de ténor, produisent la même impression sur l'oreille qu'une de ces trois voix ; il nous suffira donc d'employer successivement ces trois voyelles.

Nous chercherons alors la plus petite énergie nécessaire pour faire entendre un de ces sons à un auditeur placé successivement en différents points de la salle.

Les résultats obtenus sont réunis dans le tableau suivant ; nous donnons pour chaque salle la moyenne de dix expériences, l'énergie du son est exprimée à la seconde en kilogrammètres :

Salles	Basse	Baryton	Ténor
Trocadéro.....	0,0014	0,00012	0,000088
Église de la Sorbonne.....	0,00089	0,00012	0,000088
Académie de Médecine.....	0,00026	0,00009	0,000030
Amphithéâtre Richelieu.....	0,00015	0,000051	0,000021

On voit de suite que, dans toutes les salles, les voix de basse ont un grand désavantage, puisqu'elles doivent dépenser une énergie de 7 à 16 fois plus grande que les voix de ténor ; les voix de baryton sont intermédiaires, tout en se rapprochant beaucoup plus des voix de ténor.

Si on considère les différentes salles, un ténor doit dépenser 4 fois plus d'énergie au Trocadéro que dans l'Amphithéâtre Richelieu ; au contraire, une voix de basse est obligée, sui-

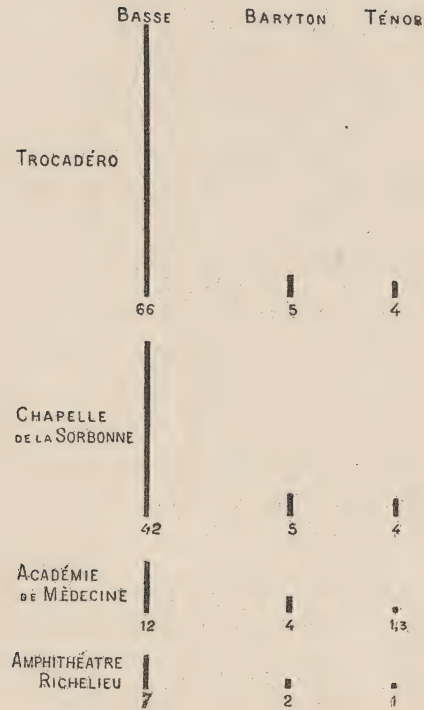


Fig. 80. — Représentation graphique des résultats.
On a pris comme unité l'énergie la plus petite, celle d'un ténor à l'Amphithéâtre Richelieu : les autres lignes verticales ont une longueur proportionnelle à l'énergie des autres orateurs ; les chiffres indiquent cette proportion.

vant la salle, de donner parfois une énergie 9 fois plus grande.

Est-ce à dire que, si l'on donne l'énergie indiquée, tous les auditeurs entendront ? C'est exact, lorsqu'on entend à peu près également bien à toutes les places ; mais il n'en est pas toujours ainsi ; au Trocadéro, par exemple, pour faire entendre les auditeurs les plus mal placés, une basse dépensera une énergie 0,004, tandis que, pour faire entendre ceux des premiers rangs, il suffira de 0,0003, c'est-à-dire 13 fois moins ⁽¹⁾.

Si toutes les oreilles étaient normales, certaines d'entre elles entendraient trop ; heureusement les auditeurs, dont l'acuité auditive est inférieure à la normale, choisissent généralement les premiers rangs.

De plus, au Trocadéro, si l'énergie du son est trop grande, la résonance devient gênante, et l'orateur doit, dans cette salle, se rappeler qu'il ne faut pas parler trop fort.

CONCLUSIONS. — A égalité de diction :

1° On a raison de dire que certaines voix portent mieux que d'autres ; cette expression signifie simplement que certaines voix ont besoin d'un moindre effort pour se faire entendre ;

2° Un orateur devra développer V et H, c'est-à-dire augmenter V en accroissant sa capacité vitale par des exercices appropriés de ses muscles inspireurs ; augmenter H en apprenant à faire fonctionner ses muscles expirateurs, tout en ne laissant pas perdre d'air inutilement par la fente glottique ;

3° En pratique, pour se faire entendre d'un auditoire dans une salle inconnue, il faut augmenter peu à peu l'énergie de la voix jusqu'à ce que l'on commence à percevoir soi-même le son de résonance ; alors on diminue un peu l'énergie du son et l'on obtient ainsi les meilleurs résultats.

(1) En pratique, un orateur, quel que soit le timbre de sa voix, dépenserait une énergie plus grande. Les nombres que j'indique représentent l'énergie la plus petite que doit avoir le son pour commencer à être perçu par une oreille très fine.

§ II. — TRAVAIL DÉVELOPPÉ PENDANT LA PHONATION

Dans le paragraphe précédent j'ai indiqué comment, en se servant d'un orateur artificiel, la sirène à voyelles, on pouvait comparer l'énergie dépensée dans une salle par des orateurs ayant des timbres différents ; on a trouvé ainsi qu'une voix de basse, pour produire la même impression sur l'oreille, devait développer un travail de 7 à 16 fois plus grand qu'une voix de baryton ou de ténor.

Il était intéressant de mesurer la valeur exacte de ce travail chez un orateur naturel. Sa valeur est exprimée par le produit VH du volume V d'air qui s'échappe des poumons pendant un temps donné sous une pression H .

Chez un sujet normal, on détermine assez facilement V au moyen du spiromètre ; mais il est impossible de mesurer H , puisqu'il faut prendre la pression de l'air dans la trachée au-dessous de la glotte.

J'ai pu faire des expériences chez deux sujets : le premier avait subi l'ablation totale du larynx, la trachée communiquait au moyen d'un tube souple avec une anche membraneuse en caoutchouc fixée dans la bouche à un palais artificiel ⁽¹⁾.

J'ai bifurqué ce tube de manière à pouvoir mesurer la pression au moyen d'un manomètre métallique gradué en millimètres d'eau.

Le débit de l'air, le nombre et la durée des inspirations étaient mesurés de la façon ordinaire.

Le deuxième sujet avait des cordes vocales normales et une canule trachéale ; en faisant communiquer celle-ci avec le manomètre, j'avais constamment la pression H de l'air pendant la phonation ; V était mesuré comme précédemment.

(1) Cet appareil a été construit par M. Delair.

Les résultats sont réunis dans le tableau suivant :

LARYNX ARTIFICIEL

<i>Conversation ordinaire.</i>	<i>Discours dans une grande salle.</i>
V L'inspiration dure 1".	Le sujet ne peut pas augmenter
L'expiration dure 3".	l'énergie de sa voix.
Le volume d'air expiré = 0 ^{lit} ,3.	
Nombre de respirations à 1' = 15.	
V = 2,070 litres par heure.	
H = 100 mm. d'eau à 200 mm.	
T = 207 kgm. à 414 kgm.	

LARYNX NATUREL

<i>Conversation ordinaire (1).</i>	<i>Discours dans une grande salle.</i>
V L'inspiration dure 1".	L'inspiration dure 2".
L'expiration dure 5".	L'expiration dure 3".
Le volume d'air expiré = 0 ^{lit} ,5.	Le volume d'air expiré = 2 litres.
Nombre de respirations à 1' = 10.	Nombre de respirations à 1' = 12.
V = 300 litres par heure.	V = 1.440 litres par heure.
H = 100 à 160 mm. d'eau.	H = 100 à 200 mm. d'eau.
T = 30 à 48 kgm. à l'heure.	T = 144 à 288 kgm. par heure.

REMARQUES. — 1° La pression de l'air se maintient, que l'on ait affaire au larynx naturel ou au larynx artificiel, entre 100 et 200 millimètres; pour la simple phrase : « Bonjour, Monsieur ! » le manomètre oscille entre 120 et 160 ;

2° Ce qui fait varier énormément le travail de la phonation, c'est le débit de l'air, qui oscille de 300 litres à l'heure (larynx naturel, conversation) à 2.070 litres à l'heure (larynx artificiel, conversation) ;

3° Les cordes vocales n'ayant pas la même longueur chez l'homme (20 à 24 millimètres) et chez la femme (16 à 18 millimètres), j'ai fait des expériences en changeant la longueur de la partie vibrante des anches membraneuses.

Pour les anches longues (24 millimètres), l'énergie minima pour les faire vibrer est 57 kilogrammètres à l'heure ; pour les anches courtes (18 millimètres) : 14^{kgm},400.

On peut donc prévoir que les femmes se fatigueront beau-

(1) Le sujet ne parle pas pendant l'inspiration.

coup moins en parlant que les hommes ; on sait, du reste, que les enfants, dont le larynx est encore beaucoup plus petit, peuvent parler toute une journée sans avoir l'air d'éprouver la moindre lassitude.

CONCLUSIONS. — 1° Un orateur doit avant tout apprendre à respirer, puisque c'est V qui varie le plus ;

2° Il ne faut pas perdre d'air inutilement, c'est-à-dire que les cordes vocales doivent se joindre sur la ligne médiane ;

3° Les hommes, et, en particulier, les basses, se fatiguent beaucoup plus en parlant que les femmes et les enfants.

§ III. — RÉSUMÉ

Pendant la phonation, il s'échappe des poumons un certain volume d'air sous une certaine pression ; le produit de ces deux quantités, le volume et la pression, donne le travail développé.

Il s'agit de les déterminer :

Le volume d'air qui s'échappe s'obtient assez facilement, mais il est plus difficile de mesurer la pression, car il faut la prendre directement dans la trachée.

On a surmonté ces difficultés en faisant des mesures sur deux sujets : l'un était muni d'un larynx artificiel, l'autre portait une canule trachéale et un larynx normal. Pendant la conversation ordinaire on développe, en une heure, un travail de 48 kilogrammètres environ, c'est-à-dire que parler pendant une heure n'est pas plus fatigant que soulever à chaque seconde un poids de 13 grammes à 1 mètre de hauteur : une dame en jouant avec son éventail ou un professeur gesticulant avec un morceau de craie dépense un travail beaucoup plus grand.

Pour faire un discours dans une grande salle, le travail est plus considérable, mais il n'est pas énorme ; il est, en moyenne, de 200 kilogrammètres à l'heure : un employé de chemin de

fer fait un travail plus grand en prenant par terre et en chargeant successivement sur son épaule quatre colis de 50 kilogrammes.

On a comparé ensuite le travail développé dans la conversation par une voix d'homme et une voix de femme, et l'on a trouvé que les femmes se fatiguent, en parlant, 4 fois moins que les hommes.

La conclusion pratique de ces expériences est la suivante : le travail développé dépend surtout du volume d'air expiré ; un orateur doit donc apprendre à emmagasiner l'air dans les poumons et à ne pas le laisser s'échapper inutilement.

CHAPITRE VIII

L'OREILLE MUSICALE

Introduction. Audition et acoumètres.

§ I. — Description.

1. Oreille externe. — 2. Oreille moyenne.
3. Oreille interne.

§ II. — Fonctionnement.

1. Oreille externe : *a)* Pavillon ; *b)* Conduit auditif.
2. Oreille moyenne : *a)* Tympan ; *b)* Chaîne des osselets.
3. Oreille interne : *a)* Périlymphe et endolymphe ;
b) Nerf auditif ; *c)* Centres auditifs.

§ III. — Applications.

1. Oreille musicale. — 2. Oreille juste et oreille fausse.
-

INTRODUCTION

L'audition, abstraction faite de tout phénomène psychique, est une fonction qui a pour but de faire parvenir jusqu'aux centres auditifs, en les transformant ou non, les vibrations qui ont été produites dans un milieu solide, liquide ou gazeux.

Cette fonction de l'audition s'accomplit plus ou moins bien ; son degré de perfection est mesuré par l'acuité auditive.

On évalue l'acuité auditive au moyen des acoumètres.

L'acoumètre idéal serait celui qui permettrait de produire dans des conditions déterminées toutes les vibrations qui peuvent parvenir jusqu'au nerf acoustique.

Or nous avons vu (page 66) que l'oreille peut entendre trois sortes de sons, les bruits, la musique, la parole : nous aurons donc trois sortes d'acoumètres ; les uns reproduiront les bruits, les autres des vibrations musicales, les derniers les vibrations de la parole.

Les instruments des deux premières classes n'indiquent que d'une façon très approximative la façon dont la parole est entendue ; un sujet peut avoir à l'un des acoumètres précédents une acuité auditive assez bonne et cependant entendre la voix d'une façon plus que médiocre : c'est un gros inconvénient (voir page 155) ; la cause est la suivante : les vibrations intermittentes des voyelles n'ont aucun rapport avec les bruits ou avec les vibrations sinusoïdales de certains acoumètres, et à chaque sorte de vibration correspond un centre auditif spécial, indépendant de son voisin.

Le meilleur acoumètre sera donc l'appareil qui nous a servi à faire la synthèse des voyelles (page 93) : c'est un orateur artificiel dont la voix peut donner toutes les notes depuis les plus graves jusqu'aux plus aiguës, avec une intensité aussi faible ou aussi forte que l'on veut (Mesure et développement de l'audition, page 198).

CHAPITRE VIII

L'OREILLE MUSICALE

§ I. — DESCRIPTION

L'oreille est composée de trois parties : l'*oreille externe*, l'*oreille moyenne* et l'*oreille interne*.

1° L'*oreille externe* comprend : le pavillon, de forme variable, et le conduit auditif, dont les dimensions moyennes sont : longueur, 21 millimètres, diamètre; 9 millimètres.

2° L'*oreille moyenne* a la forme d'une lentille biconcave dont l'épaisseur est, au centre, 1^{mm},5, et sur les bords 4 millimètres; sa hauteur est 10 millimètres; elle est fermée du côté de l'oreille externe, par la membrane du tympan (circulaire, diamètre 10 millimètres); elle communique avec l'oreille interne par la *fenêtre ronde* (circulaire, diamètre 1^{mm},5) et la *fenêtre ovale* (elliptique, petit axe 1^{mm},5, grand axe 3 millimètres); de telle sorte que, si l'on prend la surface de la fenêtre ronde pour unité, la fenêtre ovale vaut 2 fenêtres rondes et le tympan vaut 44 fenêtres rondes (*fig.* 81).

L'oreille moyenne est pleine d'air qui communique avec l'atmosphère par un tube, la trompe d'Eustache, s'ouvrant dans le pharynx : la pression est ainsi toujours égale sur les deux faces du tympan. Les vibrations du tympan sont transmises à la fenêtre ronde par l'intermédiaire de l'air, et à la fenêtre ovale par l'intermédiaire de la chaîne des osselets (*fig.* 82), composée du marteau M, de l'enclume E, de l'étrier E'; l'enclume étant au milieu s'articule d'un côté avec le marteau

en A' (articulation incudo-malléenne), de l'autre en A avec l'étrier (articulation incudo-stapéenne).

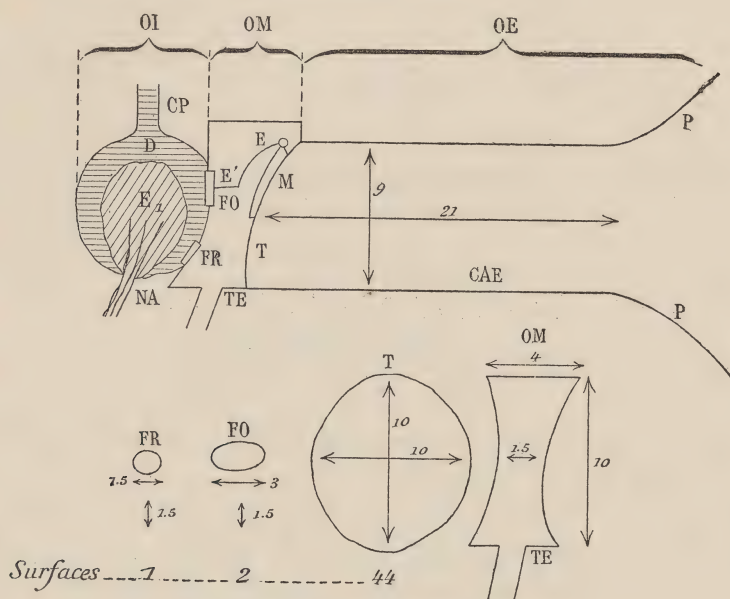


FIG. 81. — Schéma de l'oreille.

OE, oreille externe. — P, pavillon. — CAE, conduit auditif externe. — OM, oreille moyenne. — T, tympan. — M, marteau. — E, enclume. — E', étrier. — FO, fenêtre ovale. — FR, fenêtre ronde. — TE, trompe d'Eustache. — OI, oreille interne. — D, périlymphe. — CP, canal périlymphatique. — E, endolymphe. — NA, nerf auditif.

Deux muscles agissent suivant les directions des forces F et F' : l'un, F, le muscle du marteau, augmente la tension du tympan (c'est le muscle qui fait écouter); l'autre, F', le muscle de l'étrier, empêche les déplacements trop grands de l'étrier (c'est le muscle qui protège contre les vibrations très intenses).

3° *L'oreille interne.* — L'oreille interne a un volume de 200 millimètres cubes environ; elle est remplie d'un premier liquide, la périlymphe D (fig. 81), qui communique avec le liquide céphalo-rachidien par un canal, le canal périlymphatique; un sac membraneux, le sac endolymphatique, est complètement plongé dans la périlymphe et rempli d'un second liquide, le liquide endolymphatique E (fig. 81). C'est au

milieu de ce liquide que se trouvent les terminaisons nerveuses du nerf auditif; le volume de l'endolymphe est à peu près le tiers de celui de la périlymphe. On voit donc que les vibrations extérieures, avant d'impressionner ce nerf, doivent traverser le tympan, la chaîne des osselets, la périlymphe et l'endolymphe, et que tout est disposé, dans l'oreille, non pour augmenter l'intensité des vibrations, mais au contraire pour la diminuer le plus possible.

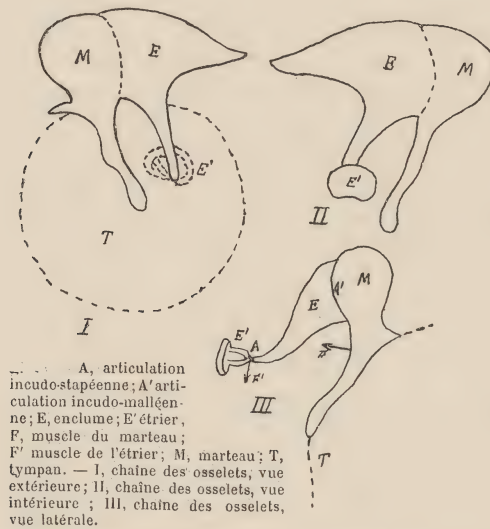


FIG. 82. — Chaîne des osselets, grossie 4 fois en diamètre.

Nous allons étudier maintenant l'action de chacune des parties de l'oreille (1) pavillon, (2) conduit auditif externe, (3) tympan, (4) chaîne des osselets, (5) périlymphe et endolymphe, (6) nerf auditif.

§ II. — FONCTIONNEMENT

1. — Oreille externe

a) **Pavillon.** — Sa forme est très variable suivant les différents animaux ; il contribue à indiquer la direction du son.

Expérience. — Il suffit de supprimer son action en introduisant dans chaque conduit auditif un tube de caoutchouc qui dépasse l'orifice de 1 ou 2 centimètres. L'opérateur ferme les yeux, et il lui est alors très difficile de dire où se trouve exactement un corps sonore produisant une vibration perçue par l'oreille. Le même phénomène se produit, si l'acuité auditive n'est pas la même pour les deux oreilles.

b) **Conduit auditif.** — Longueur mesurée en ligne droite, 21 millimètres ; diamètre vertical moyen, 9 millimètres ; diamètre horizontal moyen, 7^{mm},5.

Il protège l'oreille moyenne et contribue à augmenter l'action des vibrations sur le tympan.

Expérience. — On prend une capsule de Kœnig munie d'une membrane de caoutchouc très mince ; dans la chambre à gaz, on fait passer un courant d'acétylène que l'on allume ; la flamme est photographiée sur une feuille de papier sensible qui passe derrière l'objectif d'un appareil de photographie avec une vitesse de 1 mètre à 1^m,50 à la seconde ; si la membrane est directement au contact de l'air sans qu'elle soit entourée du moindre rebord, il est impossible de la faire entrer en vibration, il semble que les vibrations glissent à la surface ; il faut l'entourer d'un cylindre de 2 à 3 centimètres de hauteur pour qu'elle puisse vibrer ; ce cylindre est l'analogie du conduit auditif.

2. — Oreille moyenne

L'oreille moyenne agit à la façon d'un tambour inscripteur dans lequel tout est disposé pour atténuer les déplacements de la membrane ; il suffit de considérer la figure 83 pour s'en rendre compte immédiatement.

a) **Tympan.** — Diamètre 10 à 11 millimètres, épaisseur très faible (une feuille de papier à cigarettes). Le tympan

agit comme une membrane mince qui transmet toutes les vibrations sans introduire ni supprimer aucun harmonique.

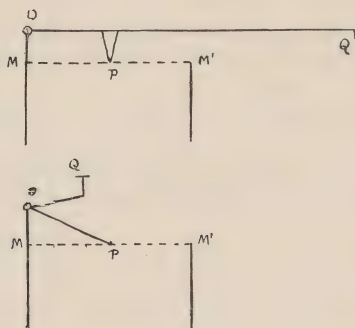


FIG. 83. — A la partie supérieure, tambour inscripteur avec le levier OPQ ;
à la partie inférieure, l'oreille moyenne avec le levier POQ.

Expérience. — On prend une capsule de Kœnig munie d'un rebord, et l'on photographie la flamme vibrant sous l'influence des voyelles OU, O, A, E, I, que l'on parle devant elle.

Ensuite, on prend la tête d'un chien fraîchement tué, on la coupe en deux parties égales, suivant un plan médian antéro-postérieur, et dans l'une des trompes d'Eustache, on introduit la longue branche d'une sonde en Y. L'une des branches est effilée, par l'autre arrive un courant d'acétylène ; on enflamme le gaz et l'on a une véritable capsule de Kœnig dont la membrane est le tympan ; on parle les cinq voyelles devant l'oreille, et l'on obtient sur du papier photographique les mêmes images que précédemment.

Le tympan est incliné sur l'axe du conduit auditif ; l'angle égale 45 degrés à peu près chez l'adulte, 10 degrés à la naissance.

Quel rapport y a-t-il entre l'acuité auditive et l'inclinaison du tympan ? On ne le sait pas encore d'une façon précise ; si l'on fait des expériences avec des membranes plus ou moins inclinées sur l'axe du tube qui amène les vibrations, on ne découvre aucune différence appréciable entre les tracés ainsi obtenus.

b) Chaîne des osselets (poids, 12 centigrammes en moyenne). — La grande branche du marteau est encastrée dans le tympan dont elle suit tous les mouvements ; ces mouvements sont transmis à la fenêtre ovale diminués à peu près de $\frac{1}{4}$ dans leur amplitude (*fig. 83*) ; on va démontrer que les déplacements de l'étrier sont de l'ordre de grandeur du $\frac{1}{1000}$ de millimètre.

Expérience. — On se rappellera d'abord que l'intensité d'un son est proportionnelle au carré de l'amplitude des vibrations qui le produisent.

On prend une sirène à voyelles et un appareil graphique dont la masse du levier est sensiblement la même que la masse des osselets, et l'on obtient une courbe, celle de A, par exemple, sous une pression de 200 millimètres d'eau; dans une période de ce tracé, on trouve des amplitudes de :

$$1 \text{ millimètre ; } \quad 0^{\text{mm}},5 ; \quad 0^{\text{mm}},25.$$

Pour avoir le déplacement de la membrane, il suffit de multiplier ces nombres par le rapport des longueurs des bras de levier, on trouve :

$$0^{\text{mm}},1, \quad 0^{\text{mm}},05, \quad 0^{\text{mm}},025 ;$$

dans les mêmes conditions, le déplacement de l'étrier aurait été les $\frac{3}{4}$ de ces nombres ou :

$$0^{\text{mm}},075 ; \quad 0^{\text{mm}},037 ; \quad 0^{\text{mm}},018.$$

Or ce même son, qui vient d'être produit sous une pression de 200 millimètres d'eau est parfaitement perçu par l'oreille sous une pression de $\frac{1}{2}$ millimètre d'eau, donc, les déplacements de l'étrier doivent être $\sqrt{400} = 20$ fois plus petits, c'est-à-dire :

$$0^{\text{mm}},0036, \quad 0^{\text{mm}},0018, \quad 0^{\text{mm}},0009.$$

Ces unités sont sensiblement de l'ordre de celles dont se déplace la plaque d'un microphone; ces nombres n'ont donc rien d'in vraisemblable.

On pourrait objecter que l'appareil dont on s'est servi n'est pas comparable à l'oreille moyenne, et que cet organe est beaucoup plus sensible; je vais démontrer qu'il n'en est rien.

1. La membrane employée est plus mobile que le tympan, car, pour une augmentation de pression de 1 millimètre d'eau, le tympan se déplace de $\frac{6}{1000}$ de millimètre, tandis que, pour la même pression, la membrane

de caoutchouc se déplace de $\frac{16}{100}$ de millimètre, c'est-à-dire 28 fois plus.

2. Le levier a un poids comparable à la chaîne des osselets (14 centigrammes au lieu de 12); de plus, il est soutenu par un axe vertical entre pointes, et il est mobile dans un plan horizontal de manière à annuler l'action de la pesanteur; il n'adhère pas à la membrane, et un petit courant d'air le force à en suivre tous les mouvements; enfin le papier est à peine noirci, et la résistance de la plume est certainement plus faible que celle qui est opposée à l'étrier par le liquide de l'oreille interne.

REMARQUE. — Lorsque, pour une raison quelconque, la chaîne des osselets est immobilisée, les vibrations peuvent passer directement du tympan à la fenêtre ronde par l'intermédiaire de l'air de l'oreille moyenne, et, si le tympan lui-

même est trop épais pour vibrer, il suffit d'y faire un trou pour que les vibrations passent directement à la fenêtre ronde et que le son soit perçu.

3. — Oreille interne.

a) **Périlymphe et endolymphe.** — Les terminaisons nerveuses du nerf auditif ne sont pas influencées directement par les vibrations arrivées à la fenêtre ronde ou à la fenêtre ovale.

Ces vibrations doivent traverser un premier liquide, la périlymphe, qui, elle-même, entoure complètement un sac clos rempli d'un liquide, l'endolymphe, dans lequel se trouvent les terminaisons nerveuses du nerf auditif. D'ailleurs, je le répète, tout est disposé dans l'oreille de manière non pas à augmenter, mais à diminuer le plus possible l'intensité des vibrations extérieures, avant qu'elles viennent impressionner le nerf auditif.

Il faut déterminer : a) *la nature des liquides* ; b) *comment les vibrations les traversent.*

a) *Nature de la périlymphe et de l'endolymphe.* — Le liquide de l'oreille contient des cristaux plus ou moins volumineux, les *otolithes* ; on peut sans difficulté étudier ce liquide chez les batraciens.

Chez la grenouille, le contenu de l'oreille interne a une apparence laiteuse, il est relativement facile d'en recueillir 1 milligramme. J'en ai déterminé la densité, elle est 2,18 ; ce chiffre est très élevé ⁽¹⁾.

La composition est la suivante : *c'est une dissolution de bicarbonate de chaux et de magnésie dans un liquide chargé d'acide carbonique avec cristaux de carbonates insolubles en excès.*

Au contact de l'air, l'acide carbonique se dégage très rapidement, et il est facile d'en déceler la présence.

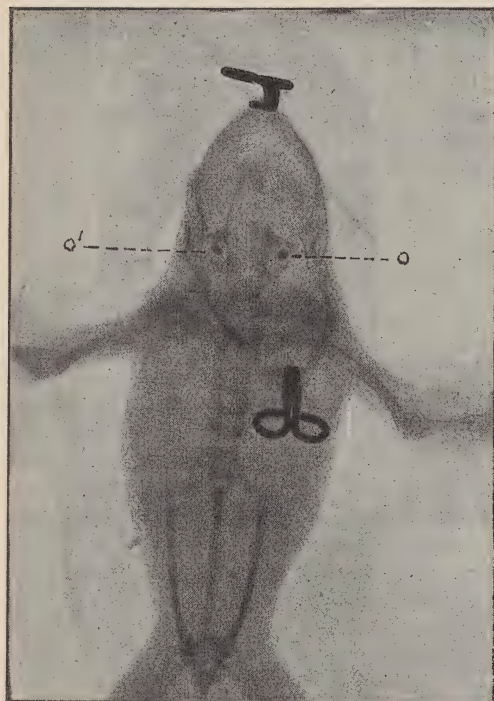
Le liquide lui-même est très volatil ; au microscope, il se présente sous l'aspect d'une substance huileuse qui se condense en gouttelettes ; il a été impossible d'en recueillir suffisamment pour en déterminer la composition.

Les cristaux qui restent sont formés de carbonate de chaux et de très petites quantités de carbonate de magnésie ; les plus volumineux d'entre eux sont de la grosseur d'un globule sanguin (32 μ) ; les autres, 98 0/0 à

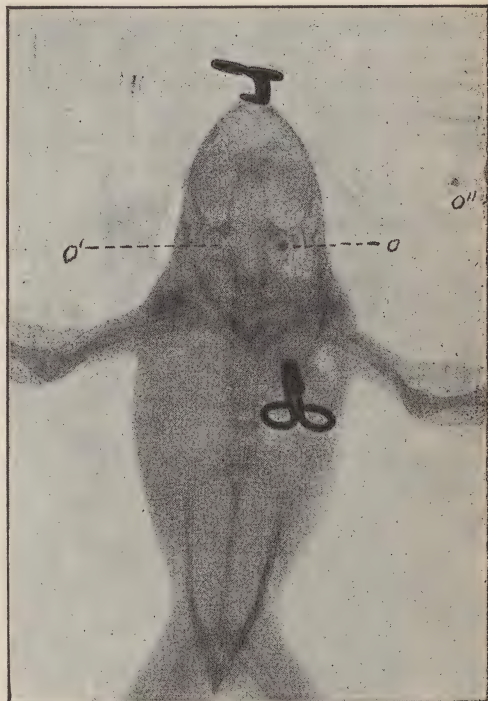
(1) Pour obtenir la densité, il suffit d'avoir une série de liquides de densités connues non miscibles avec la périlymphe ; on cherche par tâtonnement le liquide dans lequel une goutte de périlymphe reste en équilibre : la densité de la périlymphe est alors égale à celle du liquide.

peu près, sont beaucoup plus petits, et il y en aura un grand nombre qui sont à peine visibles avec un grossissement de 450 diamètres.

Ces otolithes sont solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique, et on peut les faire réapparaître par évaporation.



Otolithes O et O'.



L'otolithe O' a été enlevé et placé en O''.

FIG. 84 et 85. — Radiographie des otolithes de la grenouille.

Le contenu de l'oreille interne est donc constitué par une dissolution de bicarbonate de chaux et de magnésie avec des cristaux en excès de carbonates insolubles ; la grande densité de ce mélange en fait un très bon conducteur du son ; et ce milieu est aussi homogène qu'un acier quelconque, comme il est facile de s'en convaincre en étudiant ces solides au microscope.

On peut manifester l'existence de ces cristaux chez l'animal vivant.

Pour cela, on radiographie une grenouille vivante. Le maxillaire inférieur a été rabattu sur le thorax, de manière à diminuer l'épaisseur des tissus ; les taches O et O' représentent les otolithes (*fig. 84*) ; dans la figure 85, un des otolithes O' a été enlevé et placé en O'' sur la plaque.

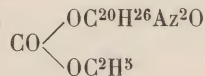
Les expériences faites sur les oiseaux ont prouvé que la densité du liquide de l'oreille interne était, chez ces animaux, voisine de 1,045; les otolithes existent en faible quantité, mais il a été impossible jusqu'ici de recueillir du liquide pur en quantité suffisante pour faire l'analyse.

Ces recherches ont été poursuivies chez les mammifères; mais il s'est présenté une difficulté nouvelle: l'impossibilité chez les mammifères d'avoir du liquide pur non mélangé avec le sang. On s'explique alors pourquoi certains auteurs ont prétendu que la composition du liquide interne se rapprochait de celle du sérum sanguin.

Pour résoudre la question, on peut prendre une méthode détournée qui est la suivante: supposons que la composition de ce liquide soit analogue chez l'homme et chez la grenouille, et que l'on fasse réagir sur lui une solution d'un sel acide de quinine, du chlorhydrate par exemple, il se formera des chlorures de calcium et de magnésium solubles, et il se déposera des cristaux de chlorhydrate de quinine: la réaction se fait très facilement sur le porté-objet du microscope.

Le même phénomène se passe très probablement dans l'organisme, et c'est ce qui pourrait expliquer la surdité et les bourdonnements produits par les sels de quinine et certains autres médicaments donnant des réactions du même genre.

La conséquence est que, pour éviter les bourdonnements dus à ce corps, il faut employer des sels qui ne puissent pas réagir chimiquement sur le liquide de l'oreille interne: du carbonate ou du bicarbonate de quinine, par exemple; ces sels étant complètement insolubles, on s'est servi d'un composé voisin, l'éthylcarbonate de quinine; or il se trouve que ce produit, qui est sans action sur le liquide de l'oreille interne, donne des tintements d'oreille très atténués. Il y a là peut-être une simple coïncidence, mais elle est intéressante à signaler. L'éthylcarbonate de quinine a pour formule:



En résumé, on se trouve, chez la grenouille, en présence d'une dissolution, dans un liquide de nature indéterminée, de bicarbonate de chaux et de bicarbonate de magnésie avec cristaux de carbonates en excès; et l'une des fonctions des otolithes est probablement de maintenir aussi constante que possible la conductibilité acoustique de ce milieu. Il est très probable que la composition de la périlymphe et de l'endolymphe est analogue chez les oiseaux et chez les mammifères.

b) *Passage des vibrations à travers la périlymphe et l'endolymphe.* — La question à résoudre est la suivante: étant donné que l'étrier se déplace de millièmes de millimètre, quelle est la nature des mouvements que ces déplacements

impriment aux liquides de l'oreille interne : la périlymphe et l'endolymphe ?

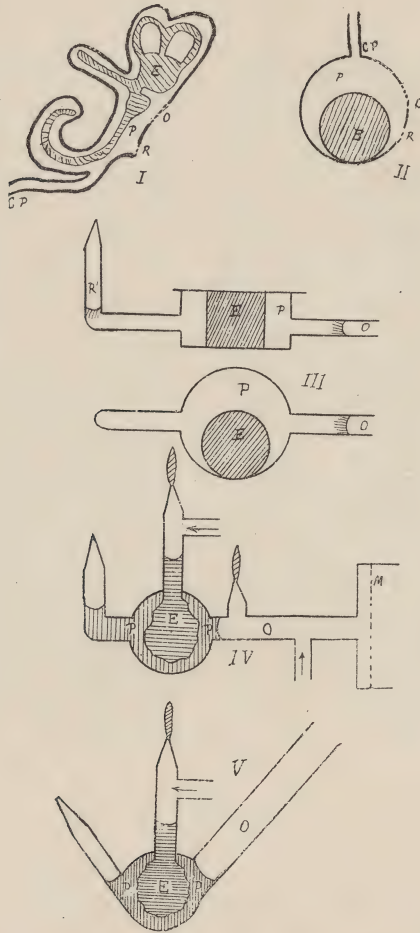


FIG. 86. — Oreille interne schématique.

CP, canal périlymphatique. — E, endolymphe. — M, membrane vibrante.
O, fenêtre ovale. — P, périlymphe. — R, fenêtre ronde. — R', manomètre à air.

Deux théories sont aujourd'hui en présence : la première, encore classique, est celle de Helmholtz ; pour cet auteur, « ce sont des vibrations transmises aux liquides, et certaines parties de l'organe de Corti vibrent à l'unisson ». La seconde théorie, plus récente, admet que ce sont des mouvements du liquide en totalité qui vient frotter à la fois toute la surface

épithéliale auditive. Les expériences qui suivent montrent que ces deux théories ne semblent pas absolument exactes et qu'il faut en admettre une troisième.

Première expérience. — Dans un tube de verre de 2 millimètres de rayon, de manière que sa section droite ait une surface à peu près égale à celle de l'étrier, on met de l'eau distillée contenant des otolithes de grenouille, et l'on soumet ce liquide aux vibrations de la sirène à voyelles, transmises par l'intermédiaire d'une membrane de caoutchouc ; quelles que soient l'intensité des vibrations et leur durée, quel que soit le volume du liquide, il est impossible de constater aucun déplacement des otolithes.

Deuxième expérience. — L'oreille interne est représentée schématiquement dans la *fig. 86* ; un sac membraneux, fermé, contenant l'endolymphe E et les cellules auditives, est plongé dans un récipient qui renferme la périlymphe P ; ce liquide est mis en rapport avec l'extérieur par les trois moyens suivants :

- a) La fenêtre ovale O qui suit les déplacements de l'étrier ;
- b) La fenêtre ronde R, dont la surface est la moitié de la première ; elle suit en sens inverse tous les mouvements de la fenêtre ovale ;
- c) Le canal périlymphatique CP qui communique avec le liquide céphalo-rachidien. La figure représente un schéma encore plus simplifié, mais contenant les éléments essentiels de l'oreille interne.

On peut facilement reproduire ce dispositif de la façon suivante : deux petits cylindres de même hauteur (III), mais de diamètre inégal, sont tangents intérieurement ; leurs bases sont formées de deux lamelles de verre ; le cylindre intérieur (endolymphe) est en baudruche très mince ; le cylindre extérieur en verre (périlymphe) communique avec deux tubes à 180° l'un de l'autre : l'un des tubes est recourbé et effilé ; il contient de l'air R', qui forme un petit manomètre et représente la résistance opposée par la fenêtre ronde et le canal périlymphatique ; les deux cylindres sont remplis d'eau contenant des otolithes ; les liquides sont soumis, par l'intermédiaire du tube ouvert O, à des vibrations bien déterminées et dont on connaît le tracé.

Si l'on examine au microscope ce qui se passe pendant les vibrations, on constate que la périlymphe est animée de mouvements de va-et-vient en totalité, tandis que l'endolymphe est absolument immobile ; donc les cellules auditives ne sauraient être influencées par des transports du liquide en totalité, puisque le liquide dans lequel elles baignent ne bouge pas.

Troisième expérience. — Il s'agit de prouver que le sac endolymphatique est soumis à des différences de pression ; pour cela, on répète l'expérience précédente en remplaçant les deux cylindres par des sphères tangentes intérieurement (IV) et (V) ; la sphère intérieure, en baudruche très mince, communique avec un tube ouvert et effilé, relié latéralement avec un autre tube par lequel arrive du gaz acétylène ; le tout est rempli du même liquide que l'appareil précédent ; le volume total du liquide est le même que celui de l'oreille interne (200 millimètres cubes environ).

Si l'on examine le ménisque au microscope, on voit qu'il est animé de mouvements très rapides de bas en haut, qui indiquent des différences

de pression. Il est important de voir si ces différences de pression ont un certain rapport avec les tracés des voyelles ; pour cela, on allume le gaz acétylène, et, avec un chronophotographe de Marey à mouvement continu, on photographie la flamme lorsque le liquide est soumis aux vibrations des voyelles.

On constate que l'on obtient les mêmes tracés que si l'on photographiait directement les vibrations dans l'air. Donc le sac endolymphatique, qui, dans la nature, est complètement clos, est soumis à des pressions variables et groupées de façon spéciale pour chaque voyelle.

Pour voir au microscope les déplacements du ménisque, il faut employer des sons qui donneraient à l'étrier des déplacements de quelques centièmes de millimètres, tandis que cet osselet se déplace au plus de $\frac{1}{1000}$ de millimètre, c'est-à-dire que ces sons ne pourraient être supportés par une oreille normale.

Il est facile de comparer l'intensité des vibrations employées avec l'intensité des vibrations de la voix, et de conclure, comme on l'a fait, une valeur approximative des pressions qui s'exercent sur le sac endolymphatique.

Ces pressions (de l'ordre de 10^{-10} centimètres pour une voix ordinaire d'intensité égale à 20) sont voisines des dimensions attribuées aux atomes (10^{-9}) et de l'espace qui les sépare (10^{-8}).

En résumé, les vibrations, en arrivant au tympan, communiquent à l'étrier des déplacements qui sont au plus de l'ordre de $\frac{1}{1000}$ de millimètre ; ces déplacements, transmis par la périlymphe, impriment au sac endolymphatique des variations de pression qui sont groupées comme les tracés des vibrations qui arrivent au tympan ; on pourrait presque dire que l'étrier agit à la façon d'un manipulateur de télégraphe Morse.

Les variations de pression dans l'oreille interne sont représentées par des unités de même ordre que les actions qui impressionnent les autres nerfs sensoriels ou sensitif ; le nerf acoustique cesse ainsi d'être une exception et rentre dans la loi commune.

b) Nerf auditif. — Comment un son impressionne-t-il les terminaisons nerveuses ?

C'est une question excessivement complexe qui n'est pas encore tout à fait au point.

Les différentes théories émises pour expliquer l'audition peuvent se ramener à deux :

Pour Helmholtz et ses disciples, certaines parties du limaçon ne peuvent être influencées que par un seul son de hauteur déterminée; lorsqu'il se produit une vibration complexe, l'oreille en fait l'analyse comme, en mathématique, on fait l'analyse d'une courbe périodique continue, au moyen de la série de Fourier.

Pour d'autres auteurs, tous les filets nerveux seraient également impressionnés, et ce seraient des centres nerveux différents situés dans le cerveau qui réagiraient différemment.

a) HYPOTHÈSE DE HELMHOLTZ. — *Première objection.* — Le limaçon n'existe pas chez les oiseaux, qui sont des chanteurs excellents et qui, cependant, entendent et s'entendent chanter.

Deuxième objection. — L'hypothèse de Helmholtz peut se résumer en deux lignes; chaque fibre de Corti est accordée pour un son, et elle vibre par sympathie lorsque ce son est produit à l'extérieur.

Cette théorie si simple semblait avoir été confirmée par les observations de Hensen (1). Au moyen d'un appareil reproduisant les dispositions du tympan et des osselets, ce savant conduisait le son d'un cor à piston dans l'eau d'une petite caisse où était fixée une *Mysis*, en sorte qu'on pouvait observer au microscope les soies extérieures de la queue.

On constatait ainsi que certains sons du cor faisaient vibrer fortement certaines soies; d'autres sons ébranlaient d'autres soies(2).

J'ai repris les expériences de Hensen au laboratoire de Roscoff; le dispositif employé était le suivant :

Une membrane mince non tendue en caoutchouc transmettait, par l'intermédiaire d'une colonne d'air de 0^m,40 de longueur, les vibrations qu'elle recevait, à 1 centimètre cube d'eau contenu dans une petite cuve où se trouvait une *Mysis*.

L'observation est facile sans fixer l'animal, car celui-ci se place presque toujours la tête vers les bords de la cuve et la queue vers le centre.

(1) *Étude sur l'organe de l'ouïe chez les Décapodes* (Journal de Zoologie scientifique de SIEBOLD et KÖLLIKER, Bd. XIII).

(2) HELMHOLTZ, *Théorie physiologique de la musique*, 2^e édition, p. 187, traduction française.

Les sources sonores employées étaient les diapasons :

à branches.....	si_2	si_3	si_4	si_5	si_6		
à anches.....	mi_2	la_2	$ré_3$	sol_3	la_3	si_3	mi_4

et les voyelles naturelles OU, O, A, É, I, émises sur les notes comprises dans les registres d'un soprano et d'un baryton. Les tracés de ces différents sons avaient été pris par les flammes manométriques et par la méthode graphique.

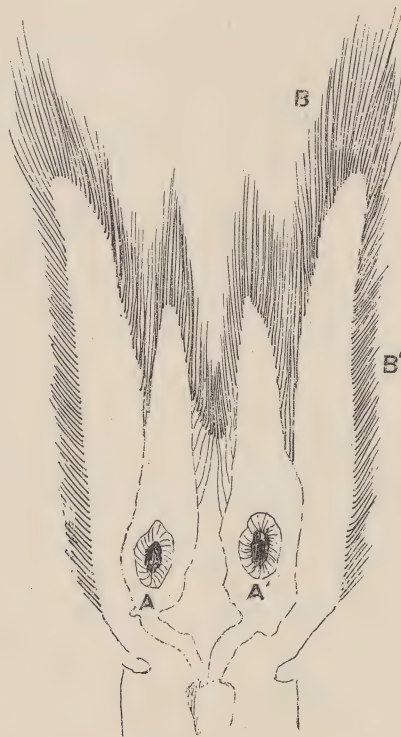


FIG. 87. — Queue de *Mysis*. (Grossiss. : 30 diam.)
A, A', otocystes avec un gros otolithe ; B, B', soies de différentes longueurs.

L'énergie du son des diapasons à anche était environ de $0^{kgm},00075$; celui des voyelles naturelles, de $0^{kgm},070$.

Les expériences ont été répétées un grand nombre de fois, sur des *Mysis vulgaris* et des *Mysis chamælon*, et jamais l'on n'a pu observer ce qu'avait remarqué Hensen, les cils longs vibrant pour des notes graves, les cils courts pour des notes aiguës.

Cependant l'énergie de ces sons était bien suffisante, puisque la voyelle synthétique I sur la note fa_6 , émise avec une énergie de $0,0000003$, est entendue par une oreille placée à 125 mètres de distance ; de même OU, sur la note ut_3 , et émise avec une énergie de $0^{kgm},015$, est entendue à 125 mètres⁽¹⁾.

(1) *Comptes rendus*, 9 janvier 1905.

Les sons du cor employés par Hensen avaient certainement une énergie beaucoup plus grande.

Malheureusement, je n'avais à ma disposition que deux trompettes à anches libres, donnant les notes $ré_4$ et ut_3 .

L'énergie du son émis par ces deux instruments était environ 200 fois plus grande ($0^{kgm}, 140$) que celui des diapasons à anche. Avec ces sources sonores très intenses, j'ai constaté, en effet, que certains groupes de cils étaient parfois animés de mouvements vibratoires, mais je n'ai pas pu remarquer d'action élective pour certains cils suivant que l'on employait la note $ré_4$ ou la note ut_3 .

De plus, il me semble qu'il y avait des causes d'erreur dues à l'ébranlement du liquide en totalité.

Malheureusement, mon installation pour ces derniers sons musicaux était trop primitive.

Pour le moment, la seule conclusion à tirer de ces expériences est la suivante :

Les sons des diapasons et ceux des voyelles naturelles, émis avec une énergie capable d'impressionner par l'air extérieur une oreille placée à 125 mètres de distance, n'ont pas pu faire entrer en vibration les cils des *Mysis*, ces vibrations étant transmises à 1 centimètre cube d'eau par l'intermédiaire d'une membrane vibrante et d'une colonne d'air de $0^m, 04$ de longueur.

b) POUR D'AUTRES AUTEURS, tous les filets nerveux seraient également impressionnés, et ce seraient des centres nerveux différents situés dans le cerveau qui réagiraient différemment.

Je vais chercher si cette deuxième hypothèse concorde avec les faits d'ordre anatomique et pathologique que nous connaissons.

1. *Faits d'ordre anatomique.* — L'oreille interne ne se compose pas seulement, comme on l'enseigne dans beaucoup d'ouvrages classiques, du vestibule, des canaux semi-circulaires et du limaçon avec les terminaisons nerveuses qui s'y trouvent; il faut comprendre dans ce terme *oreille interne* les terminaisons réelles dans le cerveau des deux branches vestibulaires qui constituent le nerf auditif; la racine postérieure ou nerf cochléaire, et le nerf vestibulaire qui correspond à la racine antérieure; il se termine dans le noyau de Deiters et dans le noyau vestibulaire. La racine postérieure ou nerf cochléaire est beaucoup plus complexe, elle aboutit par diverses branches

à huit noyaux différents. Bechterew a divisé ces différents rameaux en voies auditives centripètes de premier et de second ordre qui font communiquer, soit entre eux, soit directement avec le limaçon, les différents centres ; de plus, il existe des voies récurrentes ou centrifuges qui font communiquer entre eux les différents noyaux cellulaires ; le schéma (*fig. 88*) montre l'importance énorme de ces différents centres cérébraux par rapport aux terminaisons nerveuses du limaçon.

2. *Faits d'ordre pathologique.* — Comme il était impossible de faire des expériences directes, j'ai réuni, depuis dix ans, un grand nombre d'observations (plus de 2000), sur des mesures d'acuités auditives.

On peut maintenant, avec les appareils que j'ai présentés déterminer exactement la hauteur, le timbre et l'intensité des sons que l'oreille peut entendre.

Je vais résumer, en quelques lignes, les résultats obtenus :

a) On rencontre souvent des sujets qui entendent les *bruits* les plus faibles, mais qui sont complètement sourds pour la musique et pour la parole.

b) On en rencontre d'autres qui entendent les bruits, la musique et la parole, en tant que vibration musicale, produite par le timbre de chaque voix, mais qui ne la comprennent pas.

Ces deux sortes de surdité sont provoquées le plus souvent par des méningites diagnostiquées avec les méthodes précises dont on dispose aujourd'hui dans les laboratoires.

c) Il existe d'autres sujets, généralement atteints de maladie spéciale, chez lesquels la surdité a évolué rapidement, de manière à devenir absolue en 24 heures ; chez un malade par exemple, la surdité a évolué de la façon suivante : la surdité commence à 11 heures du soir par la disparition de l'audition de certains instruments d'un orchestre, les violons ; 2 heures après, aucun son musical n'est entendu, mais la parole est très bien comprise ; 8 heures après, la surdité est complète pour toutes les vibrations, bruits, musique, parole.

d) Lorsqu'on développe l'acuité auditive par des moyens appropriés, les phénomènes inverses se produisent : toutes les vibrations ne recommencent pas à être entendues en même temps, et l'amélioration se produit comme s'il s'agissait de différentes oreilles qui ne sont pas sensibles aux mêmes sons.

Explication. — On peut expliquer ces phénomènes de la façon suivante : lorsqu'une vibration de nature quelconque se produit à l'extérieur, toutes les terminaisons nerveuses sont

impressionnées par l'intermédiaire de la périlymphe et de l'endolymphe et, suivant qu'il s'agit d'un bruit, d'une vibration musicale ou de la parole, ce sont des centres nerveux de la première, deuxième ou troisième étape (*fig. 88*) qui sont impressionnés.

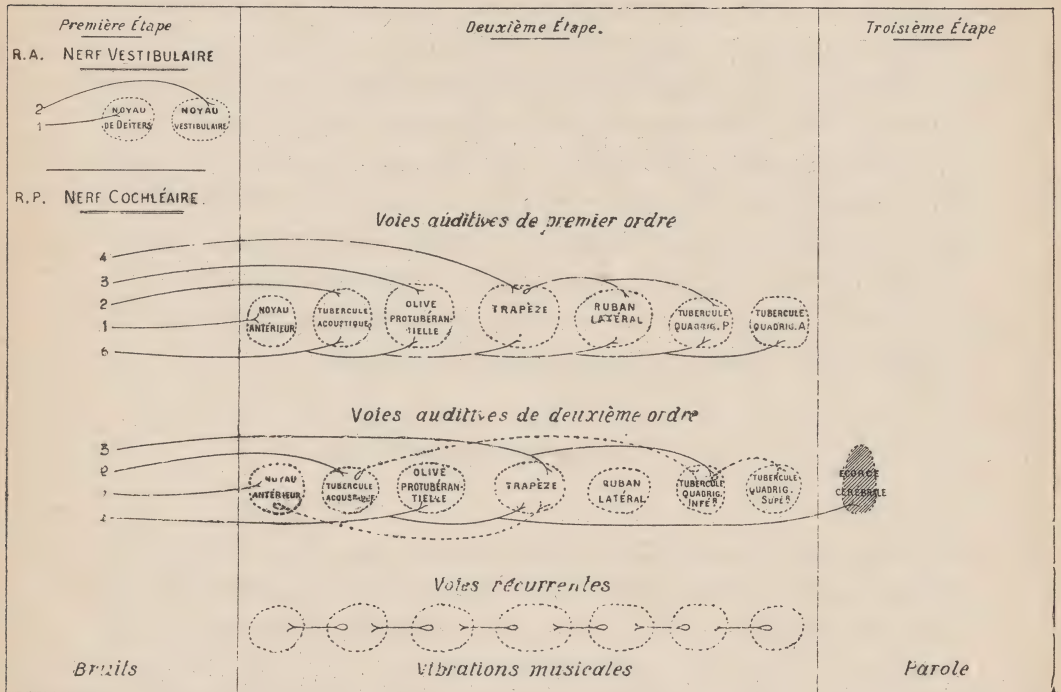


FIG. 88. — Schéma des voies auditives centrales.

Si le centre nerveux de la première étape existe seul, le sujet n'entend que les bruits, même les plus faibles ; c'est ce qui se présente à l'état normal chez les animaux inférieurs.

De même si le centre de la troisième étape est seul à être lésé, le sujet entendra toutes les vibrations, mais il ne comprendra pas la parole.

Le degré de perfection de l'audition est donc lié, non pas tant à l'organe oreille qu'aux centres auditifs et par conséquent au cerveau.

Enfin les voies récurrentes expliquent le retard dans l'audition qu'on observe chez certains sourds-muets. Supposons, en effet, que le corps trapézoïde doive réagir et que les conducteurs

centripètes allant à ce centre n'existent plus, la perception du son peut cependant se faire par l'intermédiaire des voies auditives de premier ordre allant aux tubercules quadrijumeaux et des voies récurrentes qui reviennent des tubercules au ruban latéral et de là au corps trapézoïde (*fig.* 88) ; mais alors on comprend qu'il y aura retard dans la perception du son.

Résumé. — La deuxième théorie des centres auditifs est conforme à nos connaissances anatomiques et pathologiques les plus récentes. De plus, elle explique facilement les phénomènes que nous observons. Pour que cette hypothèse devienne une certitude, il faudrait avoir un grand nombre d'autopsies montrant toujours dans le même centre la lésion correspondant au genre de surdité observée ; ces recherches exigeront beaucoup de temps, mais elles ne semblent pas impossibles.

§ III. — APPLICATIONS

1° On naît musicien de génie comme on naît mathématicien de génie, c'est-à-dire que certains sujets ont des centres auditifs mieux ou plus développés, mais on ne devient jamais un grand musicien, quels que soient les efforts développés. Autrement dit, c'est en naissant qu'on a l'oreille musicale, et par l'oreille musicale il faut entendre les centres auditifs ;

2° Une oreille juste est celle de celui qui est capable de répéter exactement avec le même nombre de vibrations une note entendue.

On chante faux parce que l'on entend faux ; et l'on entend faux généralement par suite d'une lésion de l'oreille moyenne (otite scléreuse) ou des centres auditifs (auto-intoxication).

On peut entendre faux d'une oreille et juste de l'autre.

Quand la cause disparaît, l'oreille fausse entend juste de nouveau.

CHAPITRE IX

VOIX CHANTÉE

§ I. — Principes.

§ II. — Vérification pratique des principes précédents.

Photographie de la voix d'un chanteur.

Résultats.

1. L'artiste chante en mesure. — 2. Il chante juste.
 3. Sa voix est bonne. — 4. Sa capacité vitale est suffisante.
 5. Il a de la diction. — 6. Il a telle tessiture.
 7. Il a des trous. — 8. La note est bien attaquée.
 9. Il donne un coup de glotte.
 10. La voix est énergique. — 11. La voix porte.
 12. La voix est faible.
-

CHAPITRE IX

VOIX CHANTÉE

§ I. — PRINCIPES

1° A chaque sujet correspond un larynx déterminé : aux cordes vocales longues et larges correspondent les voix graves (tessitures de basse, contralto), aux cordes vocales courtes et étroites les voix aiguës (tessitures de ténor, soprano). Une voix bien posée est celle qui chante dans sa tessiture ;

2° Une voyelle étant une vibration aéro-laryngienne intermittente renforcée ou transformée par la bouche :

a) Une voyelle n'est parfaite que si elle est produite en même temps par une bonne émission laryngienne et une bonne diction buccale ;

b) A chaque voyelle laryngienne chantée sur une certaine note correspond une forme et une seule de cavité buccale pour un sujet déterminé ;

c) On peut chanter n'importe quelle voyelle sur n'importe quelle note comprise dans sa tessiture ; mais il est vrai que certaines voyelles se chantent plus facilement sur certaines notes ;

3° L'articulation intervient quand on appuie les voyelles sur des consonnes ; de même qu'on a le droit d'être mal bâti, on a le droit d'avoir une voix laide, mais on n'a pas le droit d'avoir une mauvaise articulation ou une mauvaise diction ;

4° Il y a une voix aéro-laryngienne. Il n'y a ni voix de poi-

trine, ni voix de tête. La voix doit être homogène, et le passage des notes graves aux notes aiguës ne doit pas être marqué; les registres sont des parties de la tessiture, et l'on peut définir un registre l'ensemble des notes produites par le même mécanisme;

5° Le travail développé pendant l'émission de la voix chantée ou parlée est très faible; donc, tout chanteur ou tout orateur qui se fatigue est un chanteur ou un orateur qui chante mal, qui parle mal, ou qui est malade;

6° Une voix est forte quand elle est bien émise et que la diction est bonne. La voix est entendue de tous les auditeurs, quand le chanteur ou l'orateur commence à entendre lui-même le son de résonance de la salle;

7° On a une voix juste quand on a une oreille juste.

On a une voix belle quand on a de belles cordes vocales.

On est un artiste quand on a dans le cerveau des centres auditifs bien développés.

§ II. — VÉRIFICATION PRATIQUE DES PRINCIPES PRÉCÉDENTS

Quand on parle devant un phonographe, le style, que porte la plaque de verre, inscrit en creux toutes les vibrations sur un cylindre de cire.

L'appareil répète assez mal ce que vous avez dit, parce qu'il ajoute certaines vibrations et en supprime d'autres.

Aussi, lorsque les professeurs de chant ont voulu se servir du phonographe pour faire entendre à leurs élèves les fautes qu'ils commettaient, ceux-ci n'ont rien voulu savoir ; ils ont soutenu que c'était l'instrument qui chantait mal ; quant à leur voix, elle était parfaite.

Il fallait donc chercher un moyen, non plus de faire entendre, mais de *faire voir* à l'artiste ses qualités et ses défauts.

Le phonographe se prête mal à cet examen oculaire, car les tracés sont trop petits.

Le problème à résoudre était donc le suivant : trouver un instrument pratique permettant à n'importe qui d'inscrire directement, en une écriture visible à l'œil nu, les vibrations de la parole, de manière à faire voir immédiatement à l'artiste le tracé de sa voix.

Le dispositif employé est très simple : une membrane mince en caoutchouc, de la largeur d'une pièce de 5 francs, est placée, comme la lame vibrante du phonographe au fond d'une embouchure qui ne fait subir à la voix aucune transformation. Tous les mouvements de la membrane sont transmis à un petit miroir plan qui pèse trois fois moins que la chaîne des osselets de l'oreille (4 centigrammes au lieu de 12). Si l'on fait tomber sur le miroir, à travers une lentille, un mince rayon lumineux provenant d'une lampe électrique, le rayon vibrera comme le miroir, et après réflexion il viendra faire son image sur une plaque de verre dépoli ; les déplacements du miroir, qui ne sont que de quelques vingtièmes de milli-

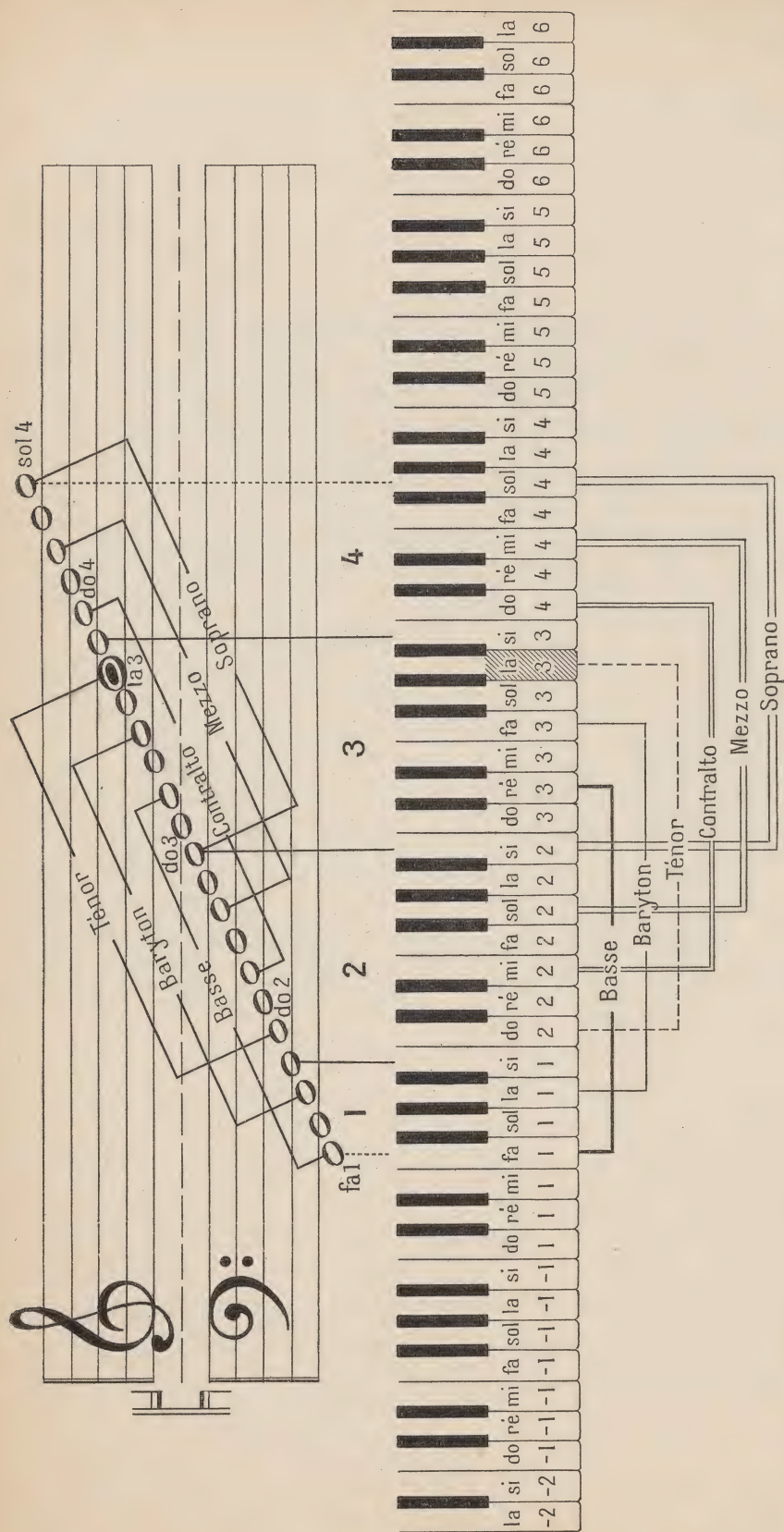


FIG. 89.

mètre, donneront alors sur l'écran une image sinueuse ayant jusqu'à 1 centimètre de hauteur : c'est cette image qu'il faut photographier. Pour cela, on remplace le verre dépoli par une bande de papier photographique de 25 mètres de longueur, qui se déplace d'un mouvement continu ; après avoir été impressionné, le papier passe dans deux bains de développement, puis dans un bain de fixage, et il sort à la lumière portant inscrites toutes les vibrations de la voix. La photographie commence à paraître au dehors, développée et fixée, à peine un quart de minute après que l'on a commencé à chanter. Pour économiser le papier, un dispositif spécial permet d'inscrire les vibrations sur des lignes parallèles allant de gauche à droite ; chaque ligne dure à volonté d'une demi-seconde à un huitième de seconde. Dans toutes les figures ci-jointes, la ligne dure un quart de seconde.

L'appareil de photographie de la voix est donc très simple, et n'importe qui peut le faire manœuvrer.

Qu'est-ce qu'on lit maintenant sur les tracés ?

Supposons que l'artiste ait chanté une gamme sur A. On voit immédiatement et l'on fait voir au chanteur les points suivants :

1° S'il chante en mesure, car chaque note doit avoir la même durée, et chaque repos, représenté par la ligne droite, la même longueur ;

2° S'il chante juste, il suffit de compter le nombre de vibrations par ligne et de multiplier par 4 si chaque ligne a duré un quart de seconde ;

3° Si sa voix est bonne, car les vibrations doivent avoir une amplitude constante, être régulières, sans tracés en fuseaux, qui indiquent que la voix est chevrotante (*fig. 90*) ;

4° S'il a une capacité vitale insuffisante, car, si le chanteur est obligé de respirer trop souvent, on retrouve, marqués par des lignes droites, des moments de repos trop longs et trop fréquents ;

5° S'il a de la diction : en effet, si la diction est mauvaise, on n'a pas le groupement caractéristique de la voyelle qui a été chantée (*fig. 91 et 92*) ;

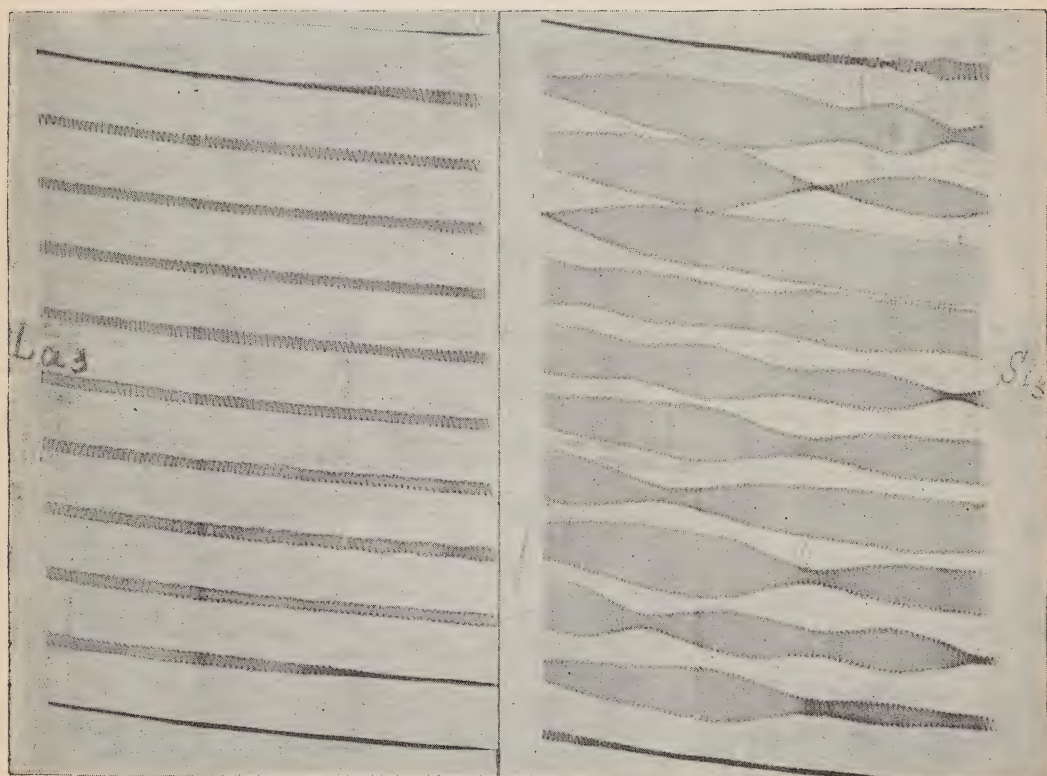


FIG. 90. — Vraie grandeur.

Passage brusque de la voix de poitrine (la_3) à la voix de tête (si_3); la note la_3 est bonne, quoiqu'un peu tremblée vers la fin; la note si_3 est très mauvaise, elle est mal attaquée et chevrotante, mais son intensité est plus grande que celle de la_3 .

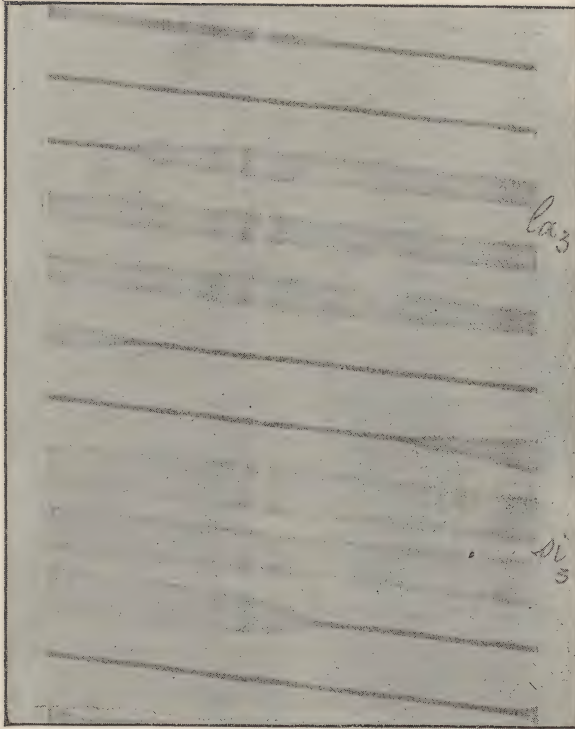


FIG. 91. — $\left(\frac{1}{4} \text{ de seconde.}\right)$ Gamme sur A par une voix de soprano juste,
en mesure, sans diction.

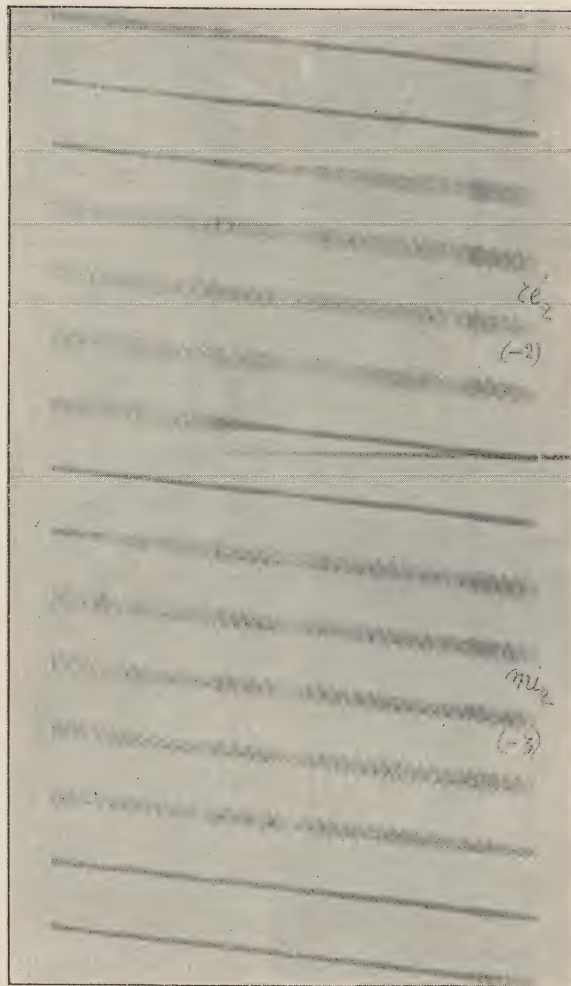


FIG. 92. — ($\frac{1}{4}$ de seconde.) Gamme sur A par une voix de baryton, fausse, non en mesure, avec diction.

6° Quelle est la tessiture de la voix ? on la reconnaît en faisant chanter une ou plusieurs gammes et en comptant de quelle note on est parti et à quelle note on est monté ; on peut dire si l'artiste est basse, baryton ou ténor ; contralto, mezzo-soprano ou soprano ;

7° S'il y a des trous dans la voix, alors les notes correspondantes sont ou plus courtes ou tremblées, ou sans diction ou même nulles ;

8° Si une note est bien attaquée, alors les vibrations commencent doucement puis augmentent peu à peu d'amplitude ;

9° S'il y a un coup de glotte, les vibrations commencent brusquement et l'amplitude diminue pour augmenter ensuite peu à peu (*fig. 94, la₃ si₃ à gauche*) ;

10° Si la voix est énergique, alors les tracés ont une grande hauteur ;

11° Si la voix porte, les tracés sont très nets et chaque voyelle a sa courbe caractéristique très régulière ;

13° Si la voix est faible, les tracés sont à peine marqués (*fig. 93, tracés 1 et 2*).

En un mot, on peut lire sur ces photographies toutes les qualités et tous les défauts de la voix.

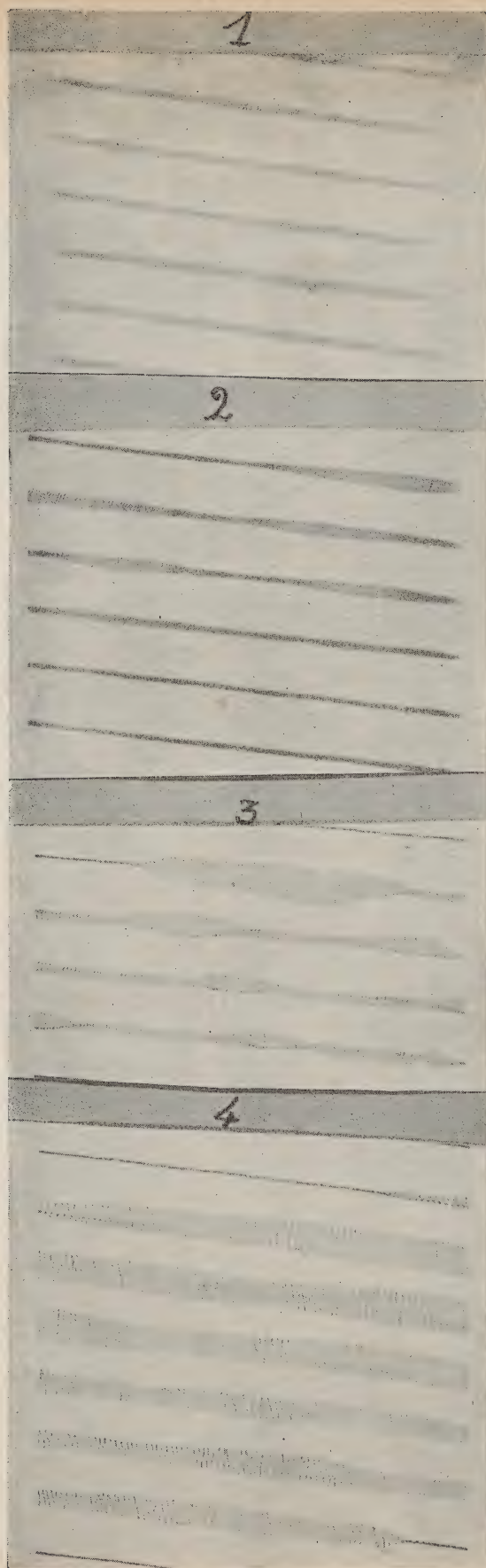


FIG. 93. — Vraie grandeur.

La même note la_3 chantée par un larynx atteint de nodules des chanteurs,
le tracé a été pris à diverses époques du traitement.

CHAPITRE X

VOIX PARLÉE

§ I. — Principes.

§ II. — Consonnes.

§ III. — Tracés de la voix parlée.

§ IV. — Conseils pratiques.

§ V. — Travaux à faire.

CHAPITRE X

VOIX PARLÉE

I. — PRINCIPES

1° On *chante avec son larynx*, c'est-à-dire qu'il est impossible de chanter quand le larynx n'est pas en bon état.

2° On *chuchote avec sa bouche*, ce qui veut dire que dans la voix chuchotée, la bouche a une importance prépondérante.

3° On *parle avec son larynx et avec sa bouche*. En effet, dans le chapitre cinquième, nous disions : une voyelle est une vibration aéro-laryngienne intermittente que la bouche peut, ou transformer, ou renforcer ; la voyelle n'a donc réellement un tracé parfait que si la cavité buccale a pris exactement la forme qu'elle doit avoir : à chaque note et à chaque voyelle correspond une forme de bouche.

De plus, nous allons voir que, dans la formation des consonnes, les résonnateurs supra-laryngiens ont une influence prépondérante.

§ II. — LES CONSONNES

Classification.

Pour établir une classification des consonnes, j'ai opéré de la façon suivante :

J'ai pris la photographie de chacune d'elles, en ayant soin de faire dérouler le papier assez lentement (chaque ligne dure $\frac{1}{3}$ de seconde) de manière à ne pas dissocier les vibrations; on obtenait ainsi la forme générale de la consonne. Il devenait alors facile de réunir ensemble les tracés qui avaient une certaine ressemblance.

		LABIALES	LINGUALES (1)	GUTTURALES
A L'air vibrant sort par la bouche seule	Consonnes			
	continues. { molles. dures.	V F	Z S	J CH
	explosives. { molles. dures.	B P	D T	G K
B L'air vibrant sort par la bouche et le nez.	vibrantes. {	R	L R	R
	nasales.....	M	N	GN

La classification contenue dans ce tableau est empruntée à Beaunis ; c'est celle qui correspond le mieux aux tracés.

(1) Pour certains auteurs, les linguales s'appellent dentales ou dentilinguales et les gutturales s'appellent palatales.

Formation. — Tandis que le larynx seul suffit pour former la voyelle, la bouche est indispensable pour produire les consonnes. En effet, lorsque celle-ci est annulée, la production d'une consonne est impossible ⁽¹⁾.

Nous pouvons donc dire d'une façon générale que les consonnes se forment dans les résonnateurs supra-laryngiens (*fig. 96*).

Deux cas se présentent : Le courant d'air des poumons peut sortir : (A) *par la bouche* (1, 2, 3) ou, (B) *par la bouche et le nez* (4) suivant la position du voile du palais (*fig. 96*).

A. *Le courant d'air sort par la bouche seule.* — Il peut être transformé à trois niveaux différents, suivant la position que prendra la langue :

1° Au niveau du voile du palais et de la base de la langue : *consonnes gutturales* (*fig. 97*);

2° Au niveau de la langue et du palais : *consonnes linguales* (*fig. 98*);

3° Au niveau des lèvres : *consonnes labiales* (*fig. 99*).

(1) Mes travaux sur les consonnes ne sont pas encore terminés et je ne donne ici qu'un léger aperçu de mes recherches.

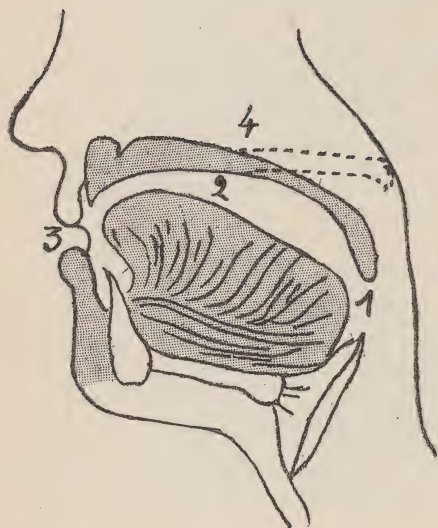


FIG. 96. — Différents points de la bouche où se forment les consonnes.

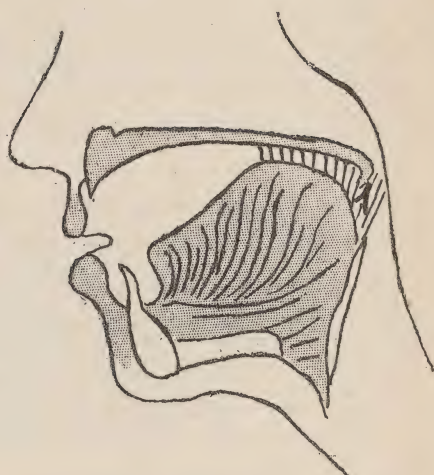


FIG. 97. — Consonne gutturale.

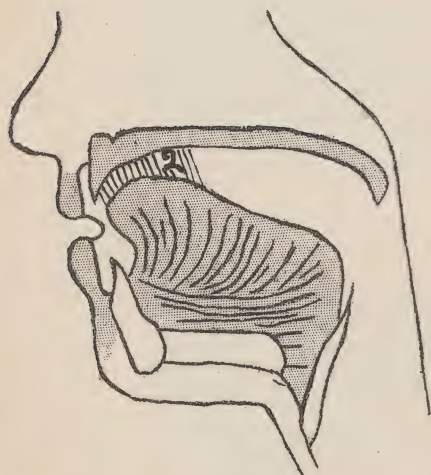


FIG. 98. — Consonne linguale.

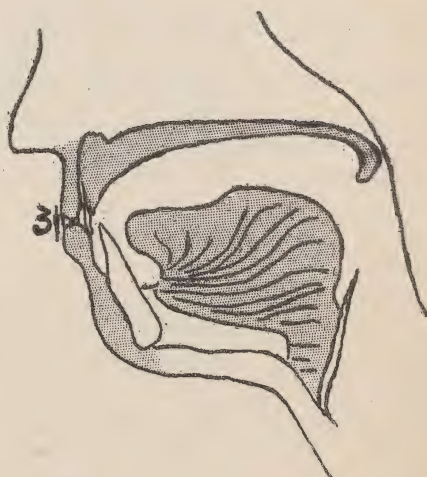


FIG. 99. — Consonne labiale.

De plus le courant d'air peut être *continu* ou *instantané* (explosif) : Dans le premier cas, la vibration commence doucement et s'arrête plus ou moins brusquement (tracé F, fig. 100).

Dans le second cas, au contraire, la vibration prend subitement son maximum d'amplitude et s'éteint doucement : *consonnes explosives* (tracé T, fig. 100) ; les consonnes continues auront donc des tracés absolument différents de ceux des consonnes explosives.

Si nous supposons maintenant que les parties mobiles des résonnateurs ne se contentent pas de transformer le courant d'air par des rétrécissements plus ou moins grands et des ouvertures plus ou moins brusques, mais se mettent à vibrer pour leur propre compte, l'onde sonore sera modifiée, et comme cette modification peut se produire à différents niveaux, une même consonne vibrante pourra présenter des tracés très différents : c'est ainsi que le R pourra être guttural, lingual ou labial.

Dans la figure 102 chaque ligne dure $\frac{1}{3}$ de seconde, on a la forme générale de la consonne : dans la figure 103, on a dissocié les vibrations, en faisant durer chaque ligne $\frac{1}{4,8}$ de seconde.

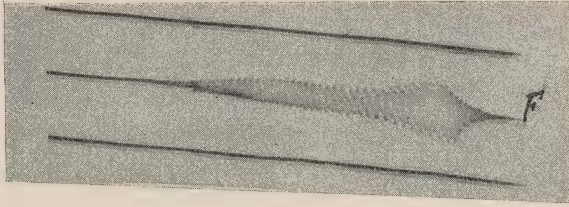


FIG. 100. — Consonne continue.



FIG. 101. — Consonne instantanée (explosive).

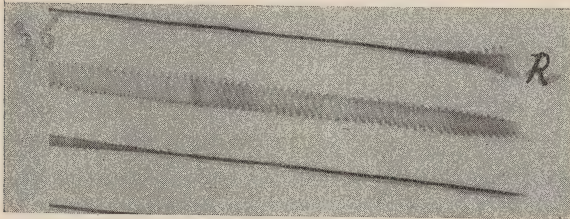


FIG. 102. — R lingual.

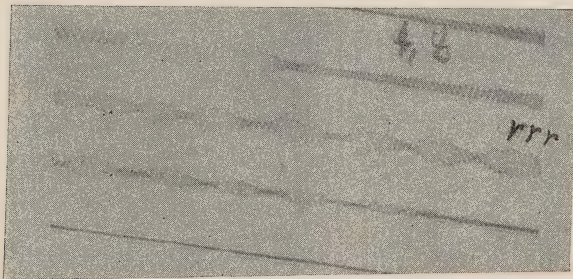


FIG. 103. — R guttural.

B. *Le courant d'air sort par la bouche et le nez.* — Dans les trois cas précédents, l'air sortait par la bouche seule, on peut supposer maintenant que le voile du palais s'abaisse et que l'air sort à la fois par la bouche et par le nez (*fig.* 96). Nous aurons alors des tracés nouveaux : ce sont les *consonnes nasales* qui, elles aussi, peuvent être *gutturales*, *linguales* ou *labiales* (*fig.* 104, 105, 106).

Ces diverses combinaisons peuvent se faire de toutes sortes de façons, et l'on voit dès maintenant qu'il doit exister des quantités de consonnes différentes.

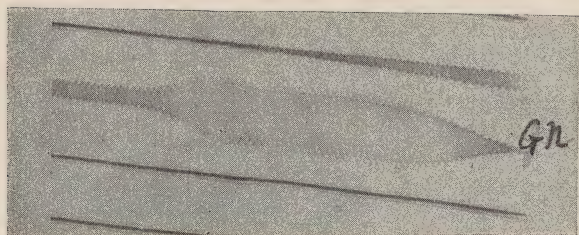


FIG. 104. — Gutturale.

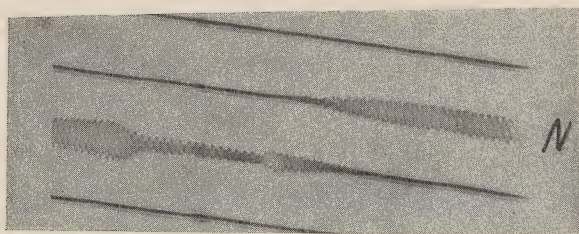


FIG. 105. — Linguale.

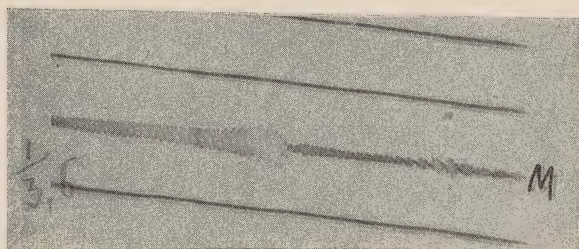


FIG. 106. — Labiale.
Consonnes nasales.

On comprend que certaines consonnes d'une même classe puissent facilement être confondues par l'oreille (ex. P et B) : ceci se présente lorsque leurs tracés se ressemblent ; les figures 107 et 108 montrent bien ce qui se passe : une oreille peu habituée n'arrivera pas à entendre la différence, tandis que l'œil voit plus facilement la distinction entre les deux tracés.

On s'explique alors comment, par exemple, le mot « Bonjour » peut facilement devenir « Ponchour » dans une bouche étrangère.

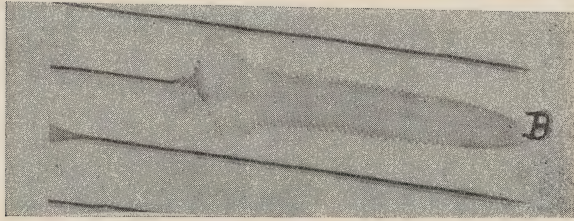


FIG. 107.

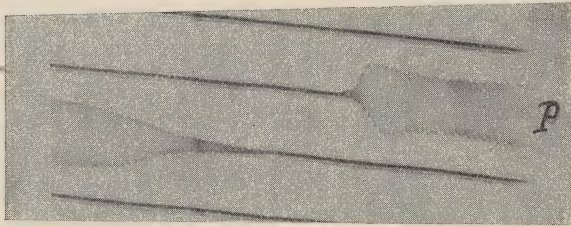


FIG. 108.

§ III. — ÉTUDE DE LA VOIX PARLÉE

Pour étudier la voix parlée, c'est-à-dire l'union des voyelles et des consonnes dans le langage ordinaire, on peut employer deux procédés.

1° *Cinématographier la bouche* parlant lentement et articulant bien.

Les figures 109, 110, 111 permettent de suivre le commencement de la phrase : « Cinq ou six officiers gascons passèrent un... ». Un sourd-muet pourrait facilement lire ces mots sur les lèvres de l'artiste.

Ces chronophotographies ont été faites en 1902, avec l'aide de M. Andréyor, du Gymnase, à la station physiologique du Collège de France, dans le laboratoire de Marey.



FIG. 110.



FIG. 141.

2° *Photographier a voix parlée.* — On emploie le procédé que nous avons décrit plus haut : Sur les épreuves que nous reproduisons, un professeur de diction reconnaîtra de suite :

- 1° La durée et la place de chaque voyelle ;
- 2° La note sur laquelle elle est émise ;
- 3° Les parties constitutives de chaque syllabe, voyelle et consonne.

Je me rappellerai toujours le désespoir d'un professeur qui ne pouvait pas faire prononcer correctement le mot « trottoir » à une jeune Anglaise. Trottoir devenait dans la bouche anglo-saxonne : tottououaaa. Les *r* avaient disparu et la dernière syllabe se prolongeait en un *ouaaa* qui n'en finissait plus ; l'élève n'entendait pas la différence entre sa prononciation et celle du professeur ; mais quand elle vit les deux photographies : celle de la prononciation correcte et la sienne, elle comprit (*fig.* 113 et 114).

Les figures ci-jointes font voir immédiatement les qualités et les défauts de la diction.

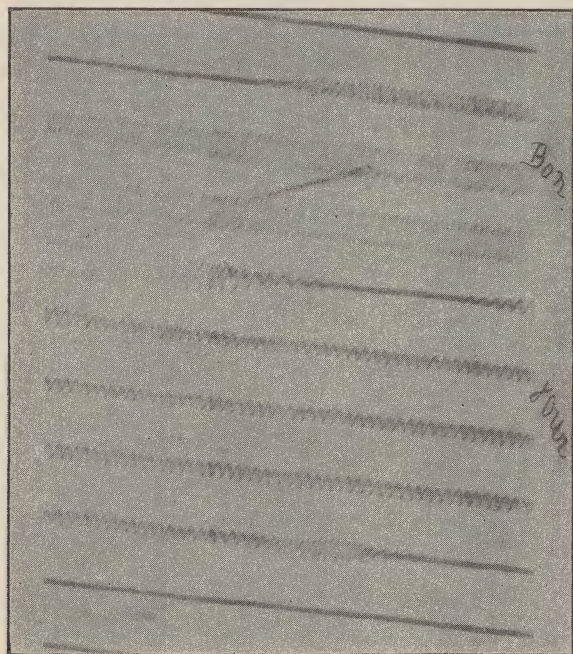


FIG. 112.

Bonjour est bien prononcé parce que chaque partie des syllabes est bien marquée, et que l'*r* existe à la fin ou avec un seul renflement sans être roulé comme dans la figure 90.

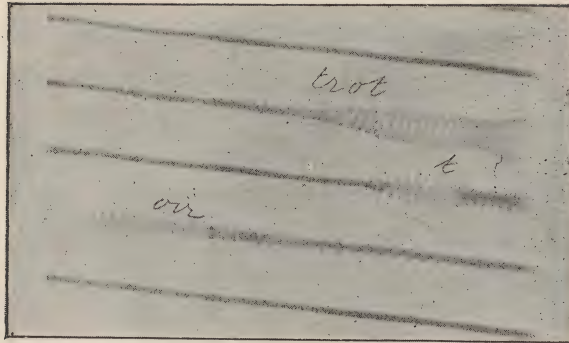


FIG. 113. — $\left(\frac{1}{3,4}$ de seconde.) Trottoir prononcé par un Français.

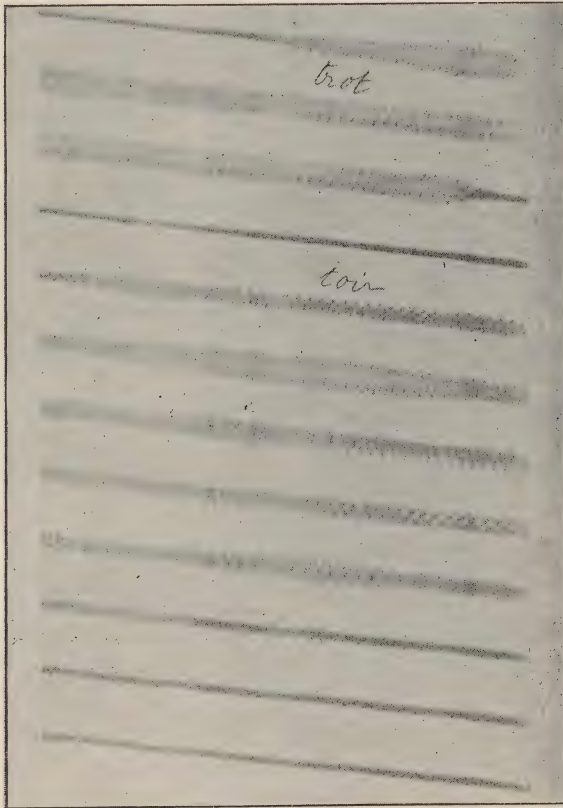


FIG. 114. — $\left(\frac{1}{3,4}$ de seconde.) Trottoir prononcé par un Anglais.

§ IV. — CONSEILS PRATIQUES A UN ORATEUR

Conseils d'ordre physique :

1° Commencer à parler sur des notes graves pour forcer les auditeurs à écouter, l'oreille étant plus sensible aux notes aiguës qu'aux notes graves ;

2° Elever ensuite la hauteur de la voix pour réveiller l'attention ; de plus en parlant sur les notes plus aiguës, on se fatigue moins ;

3° Parler très lentement : on parle généralement toujours trop vite ; il faut que l'auditeur ait le temps d'entendre et de comprendre.

4° Parler la tête droite en regardant les auditeurs pour que l'onde sonore aille directement à leurs oreilles ;

5° Avoir des vêtements ne causant aucune gêne.

6° Autant que possible ne pas parler assis et lire le moins possible ;

7° Si l'on doit lire, s'arranger de façon que les ondes sonores passent par-dessus le livre ;

8° Parler lorsque la digestion est terminée ;

9° Si la gorge est sèche, sucer, avant de commencer, un bonbon quelconque qui excite la sécrétion salivaire ; s'abstenir autant que possible de cocaïne dont l'effet anesthésiant est suivi d'un effet congestif.

§ V. — TRAVAUX A FAIRE

Étude complète des consonnes.

Méthode de diction par la photographie de la voix parlée.

CHAPITRE XI

RÉSUMÉ

RÉSUMÉ

I

Tout élève de chant ou de diction doit avoir des poumons, un larynx, un pharynx, un nez et une bouche en bon état.

II

Avant d'apprendre à chanter, il faut apprendre à respirer (exercices respiratoires).

III

Chaque sujet doit avoir à sa disposition un certain volume d'air V qui dépend de son sexe, de son âge, de sa taille et de son poids ; cet air s'échappe des poumons sous une pression H . Le produit VH mesure l'énergie de la voix.

IV

Toutes les parties des poumons doivent fonctionner, respiration thoracique supérieure, thoracique inférieure, diaphragmatique (abdominale).

V

A chaque sujet correspond un larynx déterminé : aux

cordes vocales longues et larges correspondent les voix graves (tessitures de basse et de contralto); aux cordes vocales courtes et étroites les voix aiguës (tessitures de ténor et de soprano). Une voix bien posée est celle qui chante dans sa tessiture.

VI

Une voyelle étant une vibration aéro-laryngienne intermittente renforcée ou transformée par la bouche :

a) Une voyelle n'est parfaite que si elle est produite en même temps par une bonne émission laryngienne et une bonne diction buccale;

b) A chaque voyelle laryngienne chantée sur une certaine note correspond une forme, et une seule, de cavité buccale pour un sujet déterminé;

c) On peut chanter n'importe quelle voyelle sur n'importe quelle note comprise dans sa tessiture; mais il est vrai que certaines voyelles se chantent plus facilement sur certaines notes.

VII

L'articulation intervient quand on appuie les voyelles sur les consonnes; de même qu'on a le droit d'être mal bâti, on a le droit d'avoir une voix laide, mais on n'a pas le droit d'avoir une mauvaise articulation ou une mauvaise diction.

VIII

Il y a une voix aéro-laryngienne. Il n'y a ni voix de poitrine, ni voix de tête. La voix doit être homogène,

et le passage des notes graves aux notes aiguës ne doit pas être marqué ; les registres sont des parties de la tessiture, et l'on peut définir un registre l'ensemble des notes produites par le même mécanisme.

IX

Le travail développé pendant l'émission de la voix chantée ou parlée est très faible ; donc, tout chanteur ou tout orateur qui se fatigue est un chanteur ou un orateur qui chante mal, qui parle mal, ou qui est malade.

X

Une voix porte quand elle est bien émise et que la diction est bonne. La voix est entendue de tous les auditeurs, quand le chanteur ou l'orateur commence à entendre lui-même le son de résonance de la salle.

XI

On a une voix juste quand on a une oreille juste.

On a une voix belle, quand on a de belles cordes vocales.

On est un artiste, quand on a dans le cerveau des centres auditifs bien développés.

XII

Tels sont les principes essentiels de la science du chant.

La science du chant constitue la fondation de l'édifice ; l'art du chant constitue l'édifice lui-même.

La science et l'art du chant doivent s'entr'aider sans se confondre.

PRINCIPAUX OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

Anatomie descriptive du sympathique thoracique des oiseaux (Médaille de la Faculté de Paris). In-8° de 68 p., avec fig. (David, éd.). Paris, 1887.

Anatomie et histologie du sympathique des oiseaux. In-8° de 72 p., avec fig. et pl. en couleurs (Masson, éd.). Paris, 1889.

Note sur un nouveau sphygmographe (récompensé par la Faculté de médecine), 1889.

Traitement par la résorcine en solution concentrée de l'hypertrophie du tissu lymphoïde pharyngien, 1892 (Masson, éd.).

Etude des stéthoscopes.

Traitement de la diphtérie. In-8° de 40 p., 1894.

Traitement médical des tumeurs adénoïdes. In-8° de 35 p., avec fig. Paris, 1895 (Masson, éd.) (*Académie de Médecine*).

Les divers traitements de l'hypertrophie des amygdales. Paris, 1895 (Masson, éd.).

Serre-nœud électrique automatique et pince à forcipressure pour la région amygdalienne (récompensé par la Faculté de médecine). Paris, 1896 (Masson, éd.).

Note sur un nouveau cornet acoustique servant en même temps de masseur du tympan, 1897 (Masson, éd.).

Etude des cornets acoustiques par la photographie des flammes de Kœnig, 44 planches (récompensé par la Faculté et par l'Académie de Médecine). Paris, 1897 (Masson, éd.).

Contribution à l'étude des voyelles par la photographie (37 p.).

Comment parlent les phonographes (*Cosmos*, 1898) (*Vie scientifique*).

La voix des sourds-muets (*Académie de Médecine*, 5 avril 1898).

Résumé des conférences faites à la Sorbonne sur les voyelles.

Exercices acoustiques chez les sourds-muets.

Traitement de la surdité par le massage (*Société de biologie*).

La méthode graphique dans l'étude des voyelles (*Institut*).

Synthèse des voyelles (*Institut*).

Les phonographes et l'étude des voyelles. In-8° de 49 p., avec fig.

Rôle de la cavité buccale et des ventricules de Morgagni dans la phonation (*Société de biologie*).

- Rôle de l'arthritisme dans la pharyngite granuleuse (*Académie de Médecine*, 1899).
- Théorie de la formation des voyelles, avec 43 fig., ouvrage couronné par l'Institut (Prix Barbier, 1900).
- Acoumètre normal, appareil couronné par la Faculté de médecine (Prix Barbier, 1900).
- Rôle de la chaîne des osselets dans l'audition (*Académie de Médecine*, 1900).
- Quelques remarques sur les otolithes de la grenouille (*Institut*, 1901).
- Sur les otolithes de la grenouille (*Institut*, 1901).
- Traitement scientifique de la surdité, travail couronné par l'Académie de Médecine (Prix Meynot, 1902).
- A propos du liquide de l'oreille interne chez l'homme (*Société de biologie*, janvier 1902).
- Contribution à la physiologie de l'oreille interne (*Institut*, janvier 1903).
- Action sur l'oreille, à l'état pathologique, des vibrations fondamentales des voyelles (*Institut*, février 1903).
- Pathogénie et traitement de l'otite de scléreuse (*Revue des maladies de la nutrition*, janvier, avril, mai 1903).
- A propos de la physiologie de l'oreille interne (*Institut*, mars 1903).
- Action sur l'oreille à l'état pathologique des vibrations fondamentales des voyelles (*Institut*, février 1903).
- Mesure et développement de l'audition chez les sourds-muets. In-8° de 68 p., avec 38 fig. (*Académie de Médecine*, 24 novembre 1903).
- Mode d'action des vibrations sur le système nerveux (*Institut*, février 1904).
- Comment on peut modifier la voix des sourds-muets (*Académie de Médecine*, 27 avril 1904).
- Théorie élémentaire de l'audition (*Société française de Physique*, 1904).
- Sensibilité spéciale de l'oreille physiologique pour certaines voyelles (*Institut*, janvier 1905).
- Diagnostic différentiel des lésions de l'oreille moyenne et de l'oreille interne (*Académie des Sciences*, février 1905).
- Mesure et développement de l'audition, 1905. In-8° de 117 p., avec 52 fig.
- Contribution à l'étude de l'organe de Corti (*Institut*, octobre 1905).
- Pourquoi certains sourds-muets entendent mieux les sons graves que les sons aigus (*Institut*, octobre 1905).
- Qualités acoustiques de certaines salles pour la voix parlée, 10 fig. (*Institut*, avril 1906).
- Contribution à l'étude de l'audition des poissons (*Inst.*, 26 novembre 1906).
- Photographie rapide des principales vibrations de la voix chantée et parlée (*Société philomathique*, janvier 1907).
- La portée de certaines voix (*Académie de Médecine*, 21 mai 1907).
- Travail développé pendant la phonation (*Institut*, 27 mai 1907).

- Audition et phonation chez les sourds-muets (*Académie de Médecine*, 29 octobre 1907).
- Développement de l'énergie de la voix par des exercices respiratoires (*Institut*, novembre 1907).
- Augmentation de la capacité vitale et du périmètre thoracique chez les enfants (*Institut*, 15 juin 1908).
- Photographie des vibrations de la voix (*Institut*, 23 mars 1908).
- Contribution à l'étude de l'audition (*Institut*, 12 octobre 1908).
- Différents tracés d'une même voyelle chantée (*Institut*, novembre 1908).
- Contribution à l'étude de la voix chantée; voix de tête et de poitrine (*Institut*, 11 janvier 1909).
- Résumé du cours libre fait à la Sorbonne sur la physiologie de la voix parlée et chantée (1904-1910).
- Utilité de la méthode graphique dans l'étude des instruments de musique anciens (*Institut*, 15 mars 1909).
- Les voyelles laryngiennes (*Société philomathique*, 27 mars 1909).
- La respiration chez les chanteurs (*Institut*, 25 avril 1909).
- Étude des vibrations laryngiennes (*Institut*, 22 novembre 1909).
- La photographie de la voix dans la pratique médicale (*Institut*, 24 janvier 1910).
- Développement de l'énergie de la voix (*Institut*, 9 mai 1910).
- Les bourdonnements d'oreille (*Institut*, 7 novembre 1910).
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Préface	III

CHAPITRE PREMIER

LES POUMONS 1

§ I. — Respiration normale ou physiologique.....	2
1. — Inspiration. — 2. Expiration. — 3. Appareils de mesure.	
4. Muscles inspireurs et expirateurs.	
§ II. — Obstacles à la respiration.....	10
1. — d'Origine interne. — 2. d'Origine externe.	
§ III. — Détermination de la qualité d'un acte respiratoire.....	12
1. Tableau de la respiration chez les Anglais et les Français.	
2. Appareil. — 3. Résultats : a) Respiration bonne; b) Respiration mauvaise.	
4. Conclusions.	
§ IV. — Développement de l'appareil respiratoire.....	20
1. Développement des muscles inspireurs.	
2. Développement des muscles expirateurs.	
3. Résultats : a) chez les enfants; b) chez les adultes.	
§ V. — Travaux à faire.....	32

CHAPITRE II

LE LARYNX 35

§ I. — Description du larynx	36
1. Cartilages. — 2. Muscles.	
3. Coupe histologique. — 4. Laryngoscope.	
§ II. — Fonctionnement du larynx	44
§ III. — Voix de tête et voix de poitrine.....	46

CHAPITRE III

	Pages.
LES RÉSONNATEURS SUPRA-LARYNGIENS	51
§ I. — Le pharynx.....	52
§ II. — Le nez.....	54
§ III. — La bouche.....	55
§ IV. — Travaux à faire.....	60

CHAPITRE IV

VIBRATIONS ACOUSTIQUES	65
§ I. — Division.....	66
1. Bruits. — 2. Musique. — 3. Parole.	
§ II. — Qualités du son.....	66
1. Durée. — 2. Intensité. — 3. Timbre. — 4. Hauteur.	
5. Tableau des sons entendus, musicaux et non musicaux.	
§ III. — Propagation du son.....	70
§ IV. — Travaux à faire.....	71

CHAPITRE V

LES BASES SCIENTIFIQUES DE L'ENSEIGNEMENT DU CHANT THÉORIE DE LA FORMATION DES VOYELLES	73
§ I. — Analyse des voyelles.....	75
1. Méthode auriculaire, théorie de Helmholtz.	
2. Méthodes mécaniques. — 3. Méthodes électriques.	
4. — Méthodes photographiques.	
§ II. — Synthèse des voyelles.....	92
§ III. — Expériences de physiologie.....	102
1. Sur la bouche. — 2. Sur le larynx.	
§ IV. — Définition des voyelles.....	105
1. Le larynx seul peut former les voyelles.	
2. La bouche sert à les renforcer ou à les transformer.	
3. A chaque voyelle émise sur une note donnée correspond une forme de cavité buccale.	
§ V. — Conclusions.....	106

CHAPITRE VI

	Pages.
ACOUSTIQUE DES SALLES	109
§ I. — Principes des expériences.....	110
§ II. — Expériences.....	111
§ III. — Vérification des expériences.....	116
§ IV. — Exemple d'une bonne salle.....	119
§ V. — Conclusions.....	120
§ VI. — Applications.....	121
§ VII. — Travaux à faire.....	122

CHAPITRE VII

PORTÉE DES DIVERSES VOIX ET TRAVAIL DÉVELOPPÉ PENDANT LA PHONATION	125
§ I. — La portée des différentes voix, basse, baryton, ténor.....	127
§ II. — Travail développé pendant la phonation.....	131
§ III. — Résumé.....	133

CHAPITRE VIII

L'OREILLE MUSICALE	137
Introduction. Audition et acoumètres.....	138
§ I. — Description.....	139
1. Oreille externe. — 2. Oreille moyenne. — 3. Oreille interne.	
§ II. — Fonctionnement.....	142
1. Oreille externe : a) Pavillon; b) Conduit auditif.	
2. Oreille moyenne : a) Tympan; b) Chaîne des osselets.	
3. Oreille interne : a) Périlymphe et endolymphe; b) Nerf auditif; c) Centres auditifs.	
§ III. — Applications.....	156
1. Oreille musicale. — 2. Oreille juste et oreille fausse.	

CHAPITRE IX

VOIX CHANTÉE	159
§ I. — Principes.....	160

	Pages.
§ II. — Vérification pratique des principes précédents.....	162
Photographie de la voix d'un chanteur.	
1. L'artiste chante en mesure. — 2. Il chante juste.	
3. Sa voix est bonne. — 4. Sa capacité vitale est insuffisante.	
5. Il a de la diction. — 6. Il a telle tessiture.	
7. Il a des trous. — 8. La note est bien attaquée.	
9. Il donne un coup de glotte.	
10. La voix est énergique. — 11. La voix porte.	
12. La voix est faible.	

CHAPITRE X

VOIX PARLÉE 173

§ I. — Principes.....	174
§ II. — Consonnes.....	175
§ III. — Étude de la voix parlée.....	184
§ IV. — Conseils pratiques.....	190
§ V. — Travaux à faire.....	190

CHAPITRE XI

RÉSUMÉ 191

Principaux ouvrages du même auteur.....	196
Table des matières.....	201

FÉDÉRATION DES SOCIÉTÉS DE SCIENCES NATURELLES

- I. — **Faune de France**, publiée par l'Office central de Faunistique, *Volumes parus* : Echinodermes, par Kochler, 25 fr. ; — Oiseaux, par Paris, 40 fr ; — Orthoptères, par Chopard, 18 fr. ; — Sipunculien, etc..., par Cuénot, 3 fr. 50 ; — Polychètes errantes, par Fauvel, 45 fr. ; — Diptères anthomyides, par Ségué, 60 fr. ; — Pyégononides, par Bouvier, 8 fr. ; — Tipulides, par Pierre, 25 fr.
 - II. — **Année biologique**. — Comptes-rendus des travaux de biologie générale : abonnement annuel, 50 fr.
 - **Bibliographie des sciences géologiques**, publiée par la société géologique de France et la société française de minéralogie : Prix, 20 fr. pour la France.
 - IV. — **Bibliographie botanique**, publiée par les sociétés botanique et mycologique de France, distribuée avec les bulletins de ces sociétés.
 - V. — **Bibliographie américaniste**, publiée par la Société des Américanistes de Paris et distribuée avec son bulletin, le « Journal de la Société des Américanistes ».
 - VI. — **Bibliographie géographique**, publiée par l'Association des Géographes français et par la Société de Géographie.
-
-

Bulletins de la Société Philomathique

1 ^{re} série : 1789 1805	3 volumes in-4°
2 ^e série : 1807-1813	3 volumes in-4°
3 ^e série : 1814-1826	13 fascicules in-4°
4 ^e série : 1832-1833	2 volumes in-4°
5 ^e série : 1836-1863	28 fascicules in-4°
6 ^e série : 1864-1876	13 fascicules in-8°
7 ^e série : 1877-1878	11 volumes in-8°

Mémoires originaux publiés par la Société Philomathique

A L'OCCASION DU

CENTENAIRE DE SA FONDATION 1788-1888

Le recueil des mémoires originaux publiés par la Société Philomathique à l'occasion du centenaire de sa fondation (1788-1888) forme un volume in-4° de 437 pages accompagné de nombreuses figures dans le texte et de 24 planches. Les travaux qu'il contient sont dus, *pour les sciences physiques et mathématiques*, à : MM. Désiré André ; E. Becquerel, de l'Institut ; Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Institut ; Bouty, de l'Institut ; Bourgeois ; Descloizeaux, de l'Institut ; Fourret Gernez ; Hardy ; Haton de la Goupillière, de l'Institut ; Laisant ; Laussedat ; Léauté, de l'Institut ; Mannheim ; Moutier ; Peligot, de l'Institut ; Pellat ; — *pour les sciences naturelles*, à MM. Alix ; Bureau ; Bouvier, de l'Institut ; Chatin, de l'Institut ; Drake del Castillo ; Duchartre, de l'Institut ; H. Filhol, de l'Institut ; Franchet ; Grandidier, de l'Institut ; Henneguy, de l'Institut ; Milne-Edwards, de l'Institut ; Mocquard ; Poirier ; A. de Quatrefages, de l'Institut ; G. Rose ; L. Vaillant.

En vente :

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ A LA SORBONNE

I, RUE VICTOR COUSIN, I

PARIS (Ve)